

Title	コンクリート構造物のアルカリ骨材反応劣化進行と維持管理のあり方に関する研究(Dissertation_全文)
Author(s)	河野, 広隆
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2005-03-23
URL	http://dx.doi.org/10.14989/doctor.r11635
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	author

コンクリート構造物のアルカリ骨材反応劣化進行と 維持管理のあり方に関する研究

平成16年12月

河 野 広 隆

コンクリート構造物のアルカリ骨材反応劣化進行と 維持管理のあり方に関する研究

平成16年12月

河 野 広 隆

コンクリート構造物のアルカリ骨材反応劣化進行と維持管理のあり方に関する研究

目次

第1章 序論

1-1 研究の背景	-----	1
1-2 研究の目的	-----	5
1-3 論文の構成	-----	7

第2章 これまでのアルカリ骨材反応への対応

2-1 アルカリ骨材反応の劣化メカニズム	-----	10
2-2 アルカリ骨材反応の抑制対策の経緯	-----	13
2-3 維持管理に関するこれまでの対応	-----	17
2-4 既往の研究	-----	19
2-5 これまでの対応の問題点	-----	21

第3章 1999 全国調査に見るアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物劣化の実態

3-1 1999 全国調査の全体概要	-----	24
3-2 調査方法	-----	25
3-3 調査した構造物の概要	-----	37
3-4 目視調査結果	-----	48
3-5 まとめ	-----	66

第4章 道路橋に見るアルカリ骨材反応劣化構造物の実態

4-1 調査目的	-----	68
4-2 調査方法	-----	69
4-3 統計的調査結果と考察	-----	69
4-4 個別の特徴的な結果	-----	82
4-5 本調査から浮かび上がる維持管理上の問題点	-----	85
4-6 まとめ	-----	88

第5章 アルカリ骨材反応劣化構造物の追跡調査

5-1 調査目的	-----	89
5-2 調査対象構造物	-----	90
5-3 調査方法	-----	93
5-4 調査結果	-----	97
5-5 考察	-----	104
5-6 まとめ	-----	107

第6章 アルカリ骨材反応劣化構造物のシナリオ		
6-1 コンクリート構造物の劣化シナリオ	-----	1 0 8
6-2 塩害コンクリート構造物にみる劣化シナリオ	-----	1 1 0
6-3 わが国のアルカリ骨材反応コンクリート構造物の劣化シナリオ	-----	1 1 2
6-4 補修したアルカリ骨材反応コンクリート構造物のシナリオ	-----	1 1 6
第7章 アルカリ骨材反応劣化構造物の維持管理の考え方と提言		
7-1 過去のアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の維持管理	-----	1 1 8
7-2 わが国のアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の点検・維持管理のポイント	-----	1 2 5
7-3 わが国のアルカリ骨材反応構造物に対する基本的な維持管理の考え方	-----	1 2 6
7-4 点検のポイント	-----	1 2 9
7-5 補修の必要性の判断と適用補修方法	-----	1 3 0
7-6 維持管理遂行体制	-----	1 3 2
第8章 まとめ	-----	1 3 5
謝辞	-----	1 3 9
付録Ⅰ 1999 全国調査 調査票		
付録Ⅱ 追跡調査 調査票		
付録Ⅲ 追跡調査 調査結果集計票事例		

第1章 序論

1-1 研究の背景

日本ではこれまでに莫大な数の土木用コンクリート構造物が造られてきた。例えば道路についてみると、道路統計年報2002によると、これまでに建設されてきた道路資産は、道路の総延長は約116万kmで、橋梁数は約14万橋とされている。橋梁上部工の箇所数では約6割、延長では約5割がコンクリートであり、床版や大多数の下部工にはコンクリートが用いられている。トンネルや擁壁などもコンクリート製である。このように膨大なコンクリート構造物の健全性やサービス水準を保つことは、安全かつ快適な道路交通の確保のために不可欠である。もちろん、コンクリートが使われているのは道路だけではない。我々の生活を取り巻く、道路以外の公共構造物でも多くのコンクリート構造物が用いられている。これまではこれらの構造物の建設に多くの力が注がれてきたが、今後これらの構造物に対する維持管理費の急増が懸念されている¹⁾。

これらの膨大な社会資本の維持管理に関する問題は、先進国に共通の課題であるが、さらに、わが国特有の問題としては、高度成長期に集中して構造物が整備されたことがある。もし、この頃に造られた構造物が均一な寿命を持つとすると、ある時期に集中的に更新の時期がやってくることになり、現在の社会情勢や経済事情を考えると、とても対応ができないことが想像される。実際には構造物の寿命にはバラツキがあるため、更新時期は分散するものの、それでも急激な維持管理費の増大は避けられない¹⁾。

2001年3月内閣府公表の「社会資本ストック推計調査報告書」は、1995年度には社会資本ストックへの投資全体（新規＋維持＋更新）に対する維持・更新費の割合が16%であったものが、2015年度には4割から5割に達すると推計している。

こうした状況に対応するには、既設構造物の更新の時期を延ばし分散させるとともに、維持管理費を抑えながら長寿命化を図ることが不可欠である。新設構造物に対しては、ライフサイクルコストの考え方を導入した、なるべく維持管理費用がかからず、さらなる長寿命を可能とする設計体系が要望される。

筆者がちょうど土木研究所においてコンクリートの研究に着手した四半世紀前までは、コンクリート構造物はメンテナンスフリーといわれていた。橋梁上部工を選定する際も、鋼では塗装の塗替えが必要だが、P C桁を使うと維持費が要らない、という理由でコンクリートが選定されることが多かったし、現在でも多い。コンクリート研究室に配属になったばかりの筆者は、「コンクリートにはもうあまり研究することはないのではないか」と言われた経験がある。ところが、1980年代始めのいわ

ゆる「コンクリートクライシス」は、それまでのコンクリート構造物の耐久性神話に終止符を打ち、大きな衝撃をもたらした²⁾。この時、筆者をはじめとするコンクリート技術者には、塩害やアルカリ骨材反応が突然降って湧いたように感じられた。その後、1999 年のコールドジョイント問題³⁾や2001年のアルカリ骨材反応の骨材問題、2003年のアルカリ骨材反応構造物の鉄筋破断問題⁴⁾など、何度かコンクリートの耐久性問題が発生し、その都度、あわてて対応する事態が起こっている。

コンクリート構造物で耐久性問題が断続的に生じているのには、それなりの理由があると考えられる。その原因は多岐にわたり、網羅することは難しいが、大きく分類すると表1のようになるのではないかと考えている⁵⁾。

アルカリ骨材反応に関して言えば、「設計時に想定していなかった事象の出現」が最も大きな原因ではなかろうか。

さてこのような中、最近になってアルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張によって、鉄筋コンクリート構造中の鉄筋の曲げ加工部等で鋼材が破断している事例が複数発見された。アルカリ骨材反応を生じた劣化構造物に関しては、鉄筋さえ保っていれば耐荷力には問題がないというのが定説であった。このため国土交通省近畿地方整備局と阪神高速道路公団では、事態の重要性および緊急性から、それぞれ独自に対策委員会を設け、対応を検討してきている。2003 年はじめに、この問題がマスコミに取り上げられ、土木学会ではコンクリート委員会内にもアルカリ骨材反応対策小委員会（ASR 小委員会）を設置し、平成 15 年 4 月より 2 年間を目途に活動を開始した⁴⁾。この中で、① ASR による鉄筋破断の実態把握とメカニズムの解明および点検手法の検討、②変状が生じた構造物の構造安全性に関する検討、変状が構造性能に及ぼす影響の解析的定量評価、③変状が生じた構造物の補修・補強に関する検討などを行い、広くかつ迅速に情報発信することとしている。筆者は、当委員会の実態・メカニズム WG の主査を務めさせていただいている。さらに、国土交通省道路局では、平成15年3月、「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領（案）」⁶⁾を通知し、全国の直轄国道および高速道路等の橋梁でアルカリ骨材反応に起因する橋梁の損傷状況等の調査を実施してきている。筆者は、要領案の作成に参画し、直轄国道分の損傷調査のとりまとめを行っている。

今回、鉄筋破断という衝撃的な事態が引き金になってアルカリ骨材反応に対する関心が高まったが、上記の活動を通して、筆者は以下のような問題点を認識している。

- ① アルカリ骨材反応は 1980 年代始めの「コンクリートクライシス」に対応するために設けられた旧建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリート構造物の耐久性向上技術の開発」や関連学協会の活動等の成果をもとに通達された「抑制対策」およびそれを取り入れた JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」改正、等により技術的には解決されたとの認識が広まった。
- ② 「コンクリートクライシス」のもうひとつの劣化現象である塩害は、きちんとした対応をしないと、短期間に橋梁の落橋に到る等、深刻な事態を招く。このため、問題が生じている東北や北陸では、組織だった対応がなされてきている⁷⁾。それに対し、アルカリ骨材反応は「鉄筋さえしっかりしていれば、大事にいたることは少ない」ということから、一部の公団等を除いて、あまり

表1 劣化問題の表面化の原因

構造物の絶対数の増加
構造物の供用年数の全体的な伸び（高齢化）
設計時に想定していなかった事象の出現
これまでにない種々の環境条件下での供用
荷重条件／設置環境／利用者意識
施工の不完全さなどの人為的なもの
維持管理の不徹底

組織だった対応をしてこなかった。

- ③ そのため、維持管理での対応や補修の要否の判定などは、系統だった対応がなされてきていなかった。補修方法なども基本的な考え方や採用されている多くの工法は20年前とさほど変わっていない。
- ④ 平成15年3月の全国直轄国道の橋梁の損傷状況調査を見ると、上記の反動のためか、現場では過剰とも言える反応を示している場合がある。たとえば、不必要と考えられるようなところまで補修を計画しているところもあった。

筆者は、旧建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリート構造物の耐久性向上技術の開発」⁸⁾のアルカリ骨材反応関連の研究に携わり、その後も建設省の「抑制対策」通達の策定、関連JIS⁹⁾の改訂作業などにも参画させていただいた。そのため、アルカリ骨材反応に関する研究の難しさもある程度は理解しているつもりである。「抑制対策」も決して完璧なものではなく、あくまで、現時点で工学的には許容できる不確定性を有していると考えている。しかし、アルカリ骨材反応で劣化した構造物への対応の現状を見ると、維持管理に関してはその後の研究・技術開発が明らかに不十分であったと言わざるを得ない。

一方、アルカリ骨材反応による劣化コンクリート構造物の維持管理の理論的方向付けが2001年度制定コンクリート標準示方書「維持管理編」¹⁰⁾で示されている。そこにはコンクリート構造物の維持管理の基本的な考え方と劣化曲線という概念が示されていて、ひとつひとつのコンクリート構造物の劣化を予測し、最適な維持管理をすることが基本的な理念となっている。構造物の一生を「シナリオ」として描くというような表現もされている。アルカリ骨材反応のみならず、塩害、中性化、凍結融解等の劣化を生じた構造物に対し、「潜伏期」、「進展期」、「加速期」、「劣化期」という劣化期間を定義してシナリオを考えることが提案されている。しかし、現状では、この劣化期間の定義が比較的うまく機能するのは塩害に対してのみであり¹¹⁾、かつ、その塩害でさえも「進展期」、「加速期」、「劣化期」の部分の定量的な検討は未だに研究室レベルであり、概念的なレベルを脱していないと筆者は考えている。これは、平成11年版の土木学会コンクリート標準示方書「施工編」で「耐久性照査法」が示され、これによって、コンクリート構造物の各種の劣化を想定した設計の考え方が示されたものの、現実には塩害と中性化に対してのみ定量的な耐久設計が可能となっているのと類似している¹²⁾。そのような塩害や中性化に対しても、実務的な維持管理に関しては経験的な実績によって対応がなされている。

このような中、詳細は後述するが、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物は決して少なくなく、塩害ほどではないにしても、早急に維持管理の方向や方策を提案する必要がある。そのためには、被害構造物の劣化進行のシナリオが必要である。そして、シナリオを描くには、現実劣化している膨大な数の構造物のデータの収集と解析が必要である。データの収集状況を見ても、残念ながら現状では一部の公団等で継続的な調査が行われている以外は系統だった調査は行われてきていなかった。実は筆者は、平成12年から14年まで土木学会コンクリート委員会に設けられた「耐久性データベースフォーマット作成小委員会」の幹事長を務めていた。この委員会の報告書コンクリートライブラリー109「コンクリートの耐久性に関する研究の状況とデータベース構築のためのフォーマットの提案」(2002.12)¹¹⁾は、コンクリート構造物の耐久性向上や維持管理の合理化のためには、データベースの構築が非常に重要であることを説いている。また土木研究所では、以前よりコンクリート構造物の診断を合理化・高度化するためには、点検データ等の効率的な収集・蓄積・利用支援システムの開発が必要であると認識しており^{13) 14)}、現在塩害に関するデータベースの構築活用法について

研究課題を設定している。しかしながら、アルカリ骨材反応に関してはデータベースに関する検討の着手そのものが遅れたと感じている。もともと、耐久性データベースの構築には大きな壁がはだかっていると感じている。まず一つ目は問題の複雑さがある。ここ 20 年ほどのコンクリート関係の学会などの発表を見ると、耐久性関連の論文が実に多く、「耐久性」は最も関心を持たれている分野のひとつであるが、研究の活発さとその実務への反映が必ずしもリンクしていない。耐久性問題は要素が複雑で、研究をなかなか体系化できず、得られたデータも試験条件の違いなどから相互の利用が難しいためであろう。これが土木学会コンクリート委員会の中に「耐久性データベースフォーマット作成小委員会」が設置された大きな理由のひとつでもある。ふたつ目の問題は、特に実構造物のデータの収集の困難さがある。構造物の維持管理のデータは、そのものが貴重な耐久性のデータであるが、特に劣化を生じた構造物のデータが共有されることは困難であった。この背景には、建設時の管理責任や維持管理時の責任など、直ぐには解決できない要因があるが、こうしたデータが豊富にあれば、正確な劣化モデルが構築できなくても統計的に劣化進行を把握することも可能であるし、補修の効果に関する資料なども不可欠である。

以上のような状況の中で、1999 年と 2003 年にそれぞれ、土木研究所のコンクリート分野の調査研究を総括する立場で、劣化コンクリート構造物の全国調査、道路橋のアルカリ骨材反応実態調査に参与するまたとない機会をいただいた。ここで収集した現場のアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の膨大なデータを解析し、また数は多くはないものの過去に行ったアルカリ骨材反応劣化調査データも活用しながら有機的に解析を行うことにより、わが国のアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物のシナリオの提案を試みた。さらに、これらの調査と、これまで各地方整備局などから依頼を受けた技術指導・相談などの経験をもとに、今後のアルカリ骨材反応構造物の維持管理の合理化につながる提言を行うことを目標に、本論文をまとめた。

1-2 研究の目的

アルカリ骨材反応に関しては、新設構造物への抑制対策は、技術的には解決されたとの認識が広まっている。事実、今回の調査でも旧建設省の通達が出され、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」へ抑制対策が盛り込まれた1986年以降の新設構造物では、そうした抑制対策が功を奏し、劣化を起こしている構造物はほとんどない。しかし、これまでの研究でアルカリ骨材反応に関して判明していることは事象のほんの一部でしかない。これは、アルカリ骨材反応を生じる骨材の特性が複雑であったり、劣化メカニズムが複雑で不明な点があったり、劣化に影響する因子が複雑であったりするためであり、また、耐久性問題特有の課題として、実証や実験に多大の時間と労力を必要とするためであろう。

一方、アルカリ骨材反応を生じた既存構造物の維持管理に関しては、1-1でも述べたように体系だった検討はほとんどなされてきていない。

新設構造物への抑制対策と既存構造物の維持管理両方を含めて、アルカリ骨材反応問題を真に解決していくためには、ざっと思いつくだけでも表1-2に示すような課題がある。一部の課題については、現在も土木研究所で検討中であるが、今後とも多くの研究者が地道に課題解決に尽力していかなければならないものである。

しかしながら維持管理の現場では、そのような長期にわたる研究結果を待っているわけには行かない。明日にでも対応を検討しなければならない構造物を抱えている。このため、現時点で得られる情報をもとに、現時点で考えられる最良の維持管理方針を立てるための情報を渴望している。

そこで本論文では、現在土木研究所で保有するデータを活用し、現場の構造物の状況を把握することにより、表 1-3 に示す 5 つの項目を具体的な目的として検討を行うこととする。

表 1-3 本論文の目的

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">① アルカリ骨材反応劣化構造物の実態の把握② 構造物の今後の劣化の進展の統計的な予測③ 個々の構造物の今後の劣化の進展の予測④ 検査・点検の着眼点と検査方法の確立⑤ 補修(補強)の必要性の判断基準の提案 |
|---|

なお、鉄筋破断を生じたような特殊な構造物を除いた、大多数のアルカリ骨材反応構造物を、今後合理的に維持管理していくためには、表1-2の項目の内、特に太線で示したものを明らかにしていく必要があると考える。これらの項目を把握できれば、劣化構造物のシナリオが提案でき、維持管理の実務に応用できるようになると考える。これらの項目については、本論文の各項目の中で考察を加えていきたい。

表 1-2 ASR 対策に必要な調査項目 (太線：本論文の主な検討項目)

	ASR 全般		鉄筋破断
	新設	既設	
実態	①対策は効いているか ②骨材の実態 反応性骨材の分布 ③セメント・混和材の実態	①劣化構造物の数／比率 ②劣化の生じやすい構造物種類 ③年代と劣化の特徴 ④地域と劣化の特徴 ⑤劣化の生じ易い部位・構造形式 ⑥劣化の生じやすい環境 ⑦感染率と発症率 ⑧強度や弾性係数などの低下限界 ⑨表面処理補修とASRの判定 ⑩撤去構造物の数、特徴 ⑪ひび割れの特徴（管理者判断基準） →調査法 ⑫発生時期(材齢)と劣化の経時変化、進展予測 ⑬劣化程度の時間的空間的分布	①破断構造物の数／比率 ②破断箇所 ③破断面の特徴 ④破断時期 ⑤破断と腐食 ⑥劣化の経時的順番 ⑦現状での鋼材のひずみ ⑧ひび割れなど、コンクリート表面の特徴or膨張量と破断の関係 ⑨コンクリートの特徴 ⑩配筋の特徴（鉄筋量、定着長） ⑪破断検知非破壊試験の有効性
メカニズム	①骨材の反応性評価（鉱物、岩種） ②反応性と構造物劣化 ③ASR対策の改善点 ④ASR試験法の改善点	①水と劣化程度 ②外来塩分の影響 ③日射の影響 ④気温の影響、構造形式の影響 ⑤配筋、かぶりの影響 ⑥残存膨張量と実構造物の相関 ⑦力学的性質（強度、弾性係数等） ⑧凍害、塩害との複合 ⑨劣化の程度の指標	①材質の影響 ②加工手順の影響 ③曲げ半径の影響 ④時間の影響 ⑤水の影響 ⑥膨張量の影響 ⑦膨張速度の影響 ⑧腐食の影響 ⑨コンクリートの化学的性質
診断・維持管理	— — —	①維持管理の実態把握 ②補修の有効性 ③検査・点検の着眼点と検査方法の確立 ④劣化構造物のシナリオ ⑤構造物の劣化進展の統計的な予測 ⑥個々の構造物の劣化進展の予測 ⑦補修の必要性の判断基準の提案 ⑧補修方法の選定	

1-3 論文の構成

本論文の構成と内容の概略フローを図 1-1 に示す。本論文の第 2 章以降の構成の概略を示すと以下のようになる。

第 2 章では、これまでのわが国でのアルカリ骨材反応への対応をレビューする。まず、今後のアルカリ骨材反応構造物の維持管理の検討に不可欠な劣化メカニズムについてまとめ、これまでのアルカリ骨材反応抑制対策の方針と経緯についてまとめる。次に、道路関係のアルカリ骨材反応構造物の維持管理の実態を見る。さらに、関連する既往の研究を調査することによって、本論文の位置づけを明確にする。これらのレビューと筆者自身の研究・技術指導の経験を合わせて、抑制対策と維持管理に関する技術的あるいは運用上の問題点を洗い出す。

第 3 章では、筆者らが 1999 年に建設省、運輸省、農林水産省「コンクリート構造物耐久性検討委員会」のもとで実施した「コンクリート構造物の健全度に関する全国実態調査」の結果を分析し、その中で、わが国全体のコンクリート構造物の劣化現象の実態の中で、アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物劣化の位置づけを論ずる。

第 4 章では、国土交通省道路局が平成 15 年 3 月に実施した道路橋のアルカリ骨材反応に起因する橋梁の損傷状況等の調査のうち、筆者らがとりまとめを行った全国直轄国道に対する調査データをもとに、代表的劣化のパターン、劣化を生じやすい部位、劣化の地域性や時代性、劣化を生じやすいマクロな環境とミクロな環境などの整理を行うとともに、既補修構造物に関して補修の効果を検証する。その結果を基に統計データとして全体的なアルカリ骨材反応劣化構造物の劣化シナリオを検討する。さらに、維持管理上の問題も抽出する。

第 5 章では、約 20 年前に筆者が調査を行ったアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物を中心に、その後の状況の追跡調査を行い、個別のアルカリ骨材反応劣化構造物の劣化進行状況を把握する。その結果を基に具体的な個別の構造物の劣化シナリオを検討する。また、既補修アルカリ骨材反応劣化構造物に関して補修の効果を検証する。

第 6 章では、第 4 章と第 5 章の検討結果を受け、劣化の進行パターン等を分析し、アルカリ骨材反応影響を受けたコンクリート構造物の劣化シナリオを検討する。その際、比較的シナリオが検討されてきている塩害のそれとの比較も行う。

第 7 章では、第 6 章で検討したコンクリート構造物のアルカリ骨材反応劣化シナリオをもとに、構造物の維持管理のあり方を考察し、具体的な提案を試みる。その際、現在国土交通省道路局などで維持管理方針がかなり固まっている塩害に対する維持管理方針との比較を行う。すなわち、劣化シナリオがかなり異なる塩害とアルカリ骨材反応に対し、どのような維持管理方針が、それぞれに対して合理的かを検証しながら、アルカリ骨材反応劣化構造物の維持管理のあり方を提案する。また、筆者が日常の技術指導業務や現場指導などから感じている維持管理体制に関する問題点を述べながら、アルカリ骨材反応と塩害に限らず、今後コンクリート構造物の維持管理体制をどういう方向にもっていくのがよいかについても考察する。

第 8 章では、各章で得られた主な結論をとりまとめることで、本論文の結論とする。

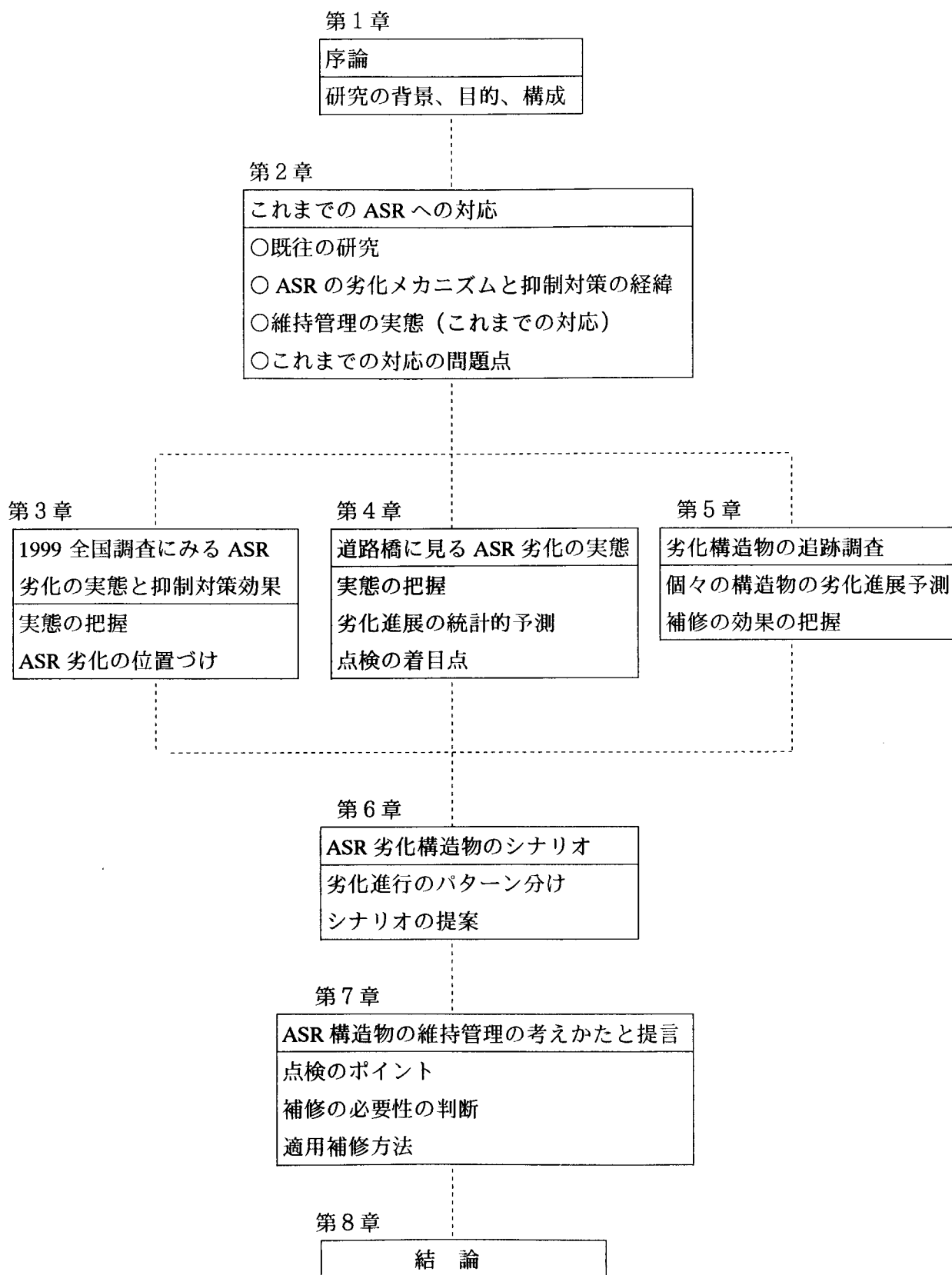


図 1－1 本論文の構成の内容概略フロー

【参考文献】

- 1)国土交通省道路局：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方提言 2003.04
<http://www.mlit.go.jp/road/current/kouzou/index.html>
- 2)例えば「新年号特別企画／コンクリート構造物の寿命をどう考えるか」、コンクリート工学誌
Vol.22, No.1 1984.01
- 3)土木学会：コンクリートライブラリー 103「コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策」、2000.07
- 4)宮川豊章：委員会報告「アルカリ骨材反応による鉄筋破断が生じた構造物の安全性評価」、
土木学会誌 Vol.88, No.9 2003, 9, p.83-84
- 5)河野広隆：「コンクリート構造物の耐久性向上技術」、プレストレストコンクリート誌 Vol.45 No.6
p.31-36 2003.12
- 6)国土交通省道路局：「アルカリ骨材反応が生じた橋梁に対する対応について」2003.03
<http://www.mlit.go.jp/road/press/press03/20030319/20030319.html>
- 7)西川和廣ほか：「日本海沿岸にかけられたコンクリート橋の塩害対策について」、
橋梁と基礎、Vol.34、No.1、2000.01
- 8)建設省：総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書 1986.06
- 9)JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」2003 改訂
JIS A 5364「プレキャストコンクリート製品－材料及び製造方法の通則」2000
JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験法（化学法）」2001
JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験法（モルタルバー法）」2001
JIS / TR A 0006「再生骨材を用いたコンクリート」等
- 10)土木学会：コンクリートライブラリー 104「2001 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕
策定資料」、2001.01
- 11)土木学会：コンクリートライブラリー 109「コンクリートの耐久性に関する研究の状況とデータ
ベース構築のためのフォーマットの提案」、2002.12
- 12)道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編、日本道路協会 2002.02
- 13)田中良樹ほか：「コンクリート構造物の診断支援システムの開発－データの収集・蓄積・利用の
効率化－」 コンクリート工学誌、 Vol.39、No.2、pp.8-13 2001-02
- 14)河野広隆：「コンクリート構造物の維持管理の最近の話題と課題」
日経コンストラクション 2003 11/14 p.94-97 2003.11

第2章 これまでのアルカリ骨材反応への対応

2-1 アルカリ骨材反応の劣化メカニズム

アルカリ骨材反応とは、主にセメントから供給されるコンクリート中のアルカリ成分（NaOH、KOH）と骨材中のある種の鉱物が化学反応を起こし、その際に生じた反応生成物が周囲の水を吸収し膨張することによって内圧を生じ、その結果としてコンクリートに有害なひび割れを生じる現象である。ただし、通常用いられている用語の定義としては、「反応を起こすこと」とその結果「有害なひび割れを起こす現象」の両方を含んでいる。

アルカリ骨材反応は、岩石中の SiO_2 鉱物とアルカリ成分が反応する「アルカリシリカ反応」と、岩石中の炭酸塩鉱物とアルカリ分が反応する「アルカリ炭酸塩反応」に大別できる¹⁾。我が国で見られるアルカリ骨材反応は、主にアルカリシリカ反応である。この論文では、アルカリシリカ反応をアルカリ骨材反応と称することとする。

アルカリ骨材反応の進行は数年から数十年の長期間にわたることが多く、その進行に伴い、コンクリート表面にひび割れ（写真 2-1）、ポップアウト、白色析出物による汚れ（写真 2-2）、変色が生じたり、部材間の目地のずれなどが生じるなど、コンクリート構造物には様々な劣化症状が現れる。その中で最も特徴的なものがひび割れである。一般的に、無筋コンクリートのように鋼材などによる拘束がない、あるいは少ない構造物では、亀甲状あるいはマップ状（英語ではメロンクラックと呼ばれることもある）のひび割れが発生し、鉄筋コンクリートやプレストレストコンクリート構造物では、鉄筋やPC鋼材などの拘束が大きい方向にひび割れが発生する²⁾。

コンクリートの中の骨材は、通常は化学的にも物理的には安定している。日本で骨材に用いられる岩石は、一般に SiO_2 （二酸化けい素）を主体としている。二酸化けい素の形態は非常に多様である。最も結晶度が高いのが、クォーツ時計等に使用されている水晶で、非常に緻密な結晶となっている。逆に一番結晶状態が悪いのがガラスで、ほとんど結晶していない状態のものである。その間にいろいろな結晶状態があるが、ガラスに近い結晶が悪いものほど、あるいは結晶の粒が小さいものほど、外からの影響を受けやすいといえる。

なお、わが国で用いられる SiO_2 （二酸化けい素）を主体としない骨材としては、石灰石骨材がある。石灰石も炭酸塩鉱物のひとつであるが、わが国で用いられているものは CaCO_3 の純度が高く、「アルカリ炭酸塩反応」を生じる例がないようである。

セメントの主成分はカルシウムであるが、カルシウム以外にもナトリウムやカリウムがわずかながら入っている。通常これらの含有量は Na_2O 、 K_2O の形で表され、セメント中の質量比率で、アルカリ量とし

て表される。一般には、「セメント中のアルカリ量」という場合は、次の式で表される等価アルカリ量で示され、質量%で示される。

$$\text{等価アルカリ量} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$$

普通ポルトランドセメントのアルカリ量は、以前はかなり高い時期があったようであるが、1990 年の建設省技術調査室通達「コンクリート構造物に使用する普通ポルトランドセメントについて」で、全アルカリ量の上限が 0.75% に規制されて以来、その値はだんだん低下していて、最近製造されているものでは、0.6% 前後あるいはそれ以下である³⁾。

Na_2O 、 K_2O はコンクリート中で水酸化ナトリウムや水酸化カリウムの状態に

なり、細孔溶液の pH を上げる。pH の高い雰囲気では結晶状態の悪い二酸化けい素は不安定となり、水酸化ナトリウムや水酸化カリウムと反応し、鎖状あるいは網状の組織から分断される。その結果、アルカリシリカゲルを生成する。アルカリシリカゲルは通称「水ガラス」とも呼ばれる。このアルカリシリカゲルは吸水すると膨張する特性を持っている。吸水膨張を生じるとゲルの周りに局部的に膨張圧を発生し、引張強度の大きくないコンクリートや骨材にひび割れを発生させる（図 2-1）。アルカリシリカゲルが吸水することで生じる膨張力がどれくらいあるか、どういう状況で膨張圧が大きくなるかなど、未だに解決されていない点も多い。

コンクリートの表面近くでこの膨張圧が作用すると、表面部分のコンクリートが局部的に剥離するポップアウトが現れると言われているが、わが国ではあまり見られない。

アルカリ骨材反応によってコンクリート表面にひび割れが入るのは、内部のコンクリートが大きく膨張し、表面のコンクリートはそれほど膨張しないことが主原因ある。一般にはひび割れ幅は鉄筋位置付近までが大きいようであり、鉄筋より深いところのコンクリートが大きく膨張していると考えられる。

こうしたひび割れは、無筋コンクリートや鉄筋量の比較的少ないコンクリート構造物（スラブ、消波ブロック、堤防など）では、亀甲状となって発生する（写真 2-1）。つまり、方向性のないひび割れで、地図状ひび割れ（マップクラック）やメロンクラック等とも呼ばれる。これらのひび割れは幅が広く、数 mm に達することもあり、部材端部などでは数 cm になるものも観察されている。また、伸縮目地部では、部材全体が膨張で伸びるため、目地材がはみ出したり（写真 2-3）、段差や傾きを生じたり（写真 2-3）、膨張圧によってコンクリートが隅角部で一部圧壊して損傷していることもある。

一方、鉄筋量が多い構造物や、外部からの拘束の大きい構造物では、ひび割れは方向性をもつ。擁壁や梁状の構造物は水平方向（写真 2-2）、橋脚や柱では鉛直方向と主筋に沿ったひび割れが目立って発生

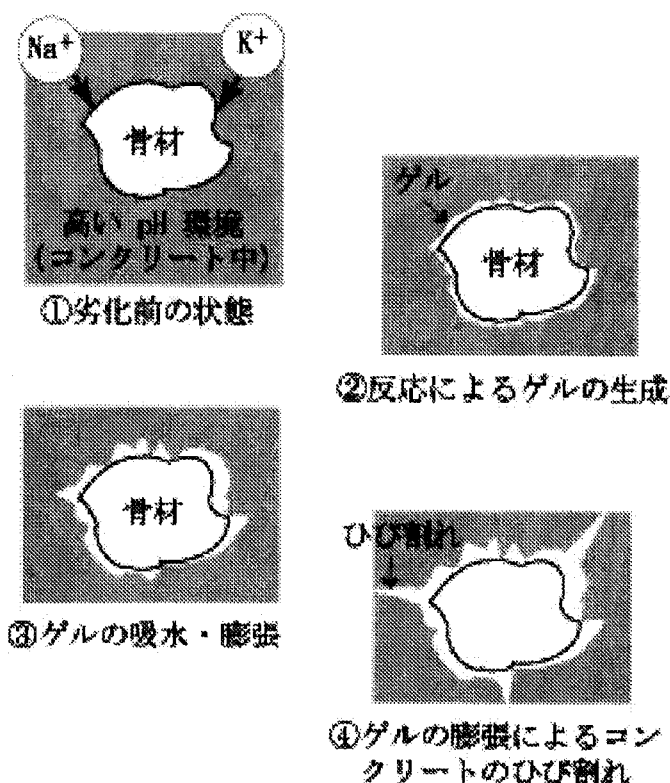


図 2-1 アルカリ骨材反応のメカニズム

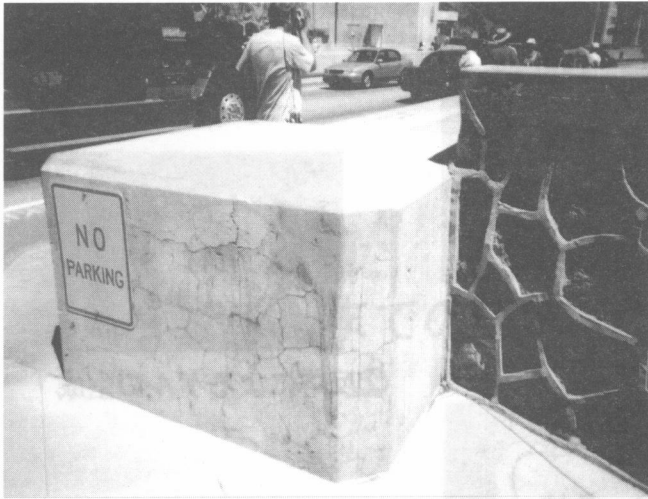


写真 2-1 フーバーダム親柱の亀甲状ひび割れ



写真 2-2 擁壁のひび割れと析出物



写真 2-3 橋台のひび割れ、傾き、段差、
目地材のはみ出し(上から撮影)



写真 2-4 橋台の隅角部のひび割れ

する。主筋と直角方向のひび割れは比較的少ないか、幅が狭い。しかしこうした構造物でも、隅角部では方向性のないひび割れが入ることが多い(写真2-4)。鉄筋の多い構造物では、ひび割れ幅は1mm以下のものが多いようである。

2-2 アルカリ骨材反応抑制対策の経緯

アルカリ骨材反応が最初に発見されたのは 1930 年代のアメリカ合衆国であった。建設後間もないコンクリート構造物に、それまでにみられなかった異常なひびわれが発見された。最初の発見時には、初期の我が国の場合と同様に原因のわからない劣化として、種々の他の原因が想定されて検討されたが、いずれも十分に当てはまらず、1940 年に Stanton が初めて骨材とアルカリの反応であるということを描した。このときの骨材はチャートや頁岩であったといわれている。

この後、米国ではいくつかの構造物に同様の劣化が認められ、1941 年には開拓局によって初めて対策が示された。これに引続き、試験方法や発生防止対策等種々の試行錯誤が繰り返され、ASTM C 289 のいわゆる化学法や ASTM C 227 のモルタルバー法が確立された。これらの試験法は、今日まで世界各国で引続き行われていたり、あるいは、各国でその国の条件に合うように改良された試験方法の土台となっている。

一方、米国でのアルカリ骨材反応の発見後、カナダやヨーロッパのいくつかの国、アフリカやインド等でもアルカリ骨材反応問題が報告されている。現在、3～4 年に一度の割合で、アルカリ骨材反応に関する国際会議（International Conference on Alkali-Aggregate Reaction）が開催されていて、毎回新たな情報が報告されている。

我が国では昭和 25 年に米国の文献が紹介され、昭和 26 年に山形県での調査で、2 構造物がアルカリ骨材反応の疑いが高いとして報告されている。このときの骨材は主に頁岩であったといわれている。この報告の後、我が国の多数の骨材が、化学法で試験されたが、反応性を有するものは、ごく限られたものだけであったと報告されている。これから、我が国においてはアルカリ骨材反応はほとんどないという考え方が広まったようである。この他に 1965 年頃には鳥取県で被害例が一例公表されている。この後、1982 年頃の阪神地区での損傷事例の発見まで、アルカリ骨材反応は我が国では注目されることはなかったといえよう。

阪神地区での損傷事例の発見の後、日本各地でそれらしき事例が多数発見され、塩害とともにいわゆるコンクリートクライシスの一因となった。その後、多くの研究機関等で、損傷の原因から、骨材の実態、劣化メカニズム、骨材の試験方法、劣化抑制方法、劣化構造物の性能評価・診断・補修方法等について広範な研究が行われた。

新設コンクリート構造物に対し、アルカリ骨材反応に伴うひび割れを防止するには、アルカリ骨材反応を生じる発生要因を絶つことである。発生要因としては、次のようなことが挙げられる。

- ①アルカリ反応性のある骨材の使用
- ②コンクリート中に含まれるアルカリ量の増加
(セメント中のアルカリ量および海水、凍結防止剤などから供給されるアルカリ量など)
- ③ コンクリートへの水分の供給

アルカリ反応性骨材の使用に対して

現在、骨材のアルカリ反応性を判定する試験方法としては、JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験法(化学法)」2001、JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験法(モルタルバー法)」2001、JIS A 1804「コンクリート生産工程管理用試験方法—骨材のアルカリシリカ反応性試験法(迅速法)」2001 が JIS 化されている。また、世界的にはその国の骨材の状況などに応じて各種の試験法が提案、あるいは規格化されている⁴⁾。

これらの試験方法による反応性の有無の判定は、あくまでも工学的なものである。骨材には反応性のものと非反応性のものの2種類があるわけではない。実際には、全てのシリカ鉱物は高アルカリの中では何らかの変質をする。実際のコンクリート構造物の供用期間等を考えるとこの速度の大小が問題となる。このため、試験をして、ある判定値で便宜的に「無害」「無害でない」と分けているに過ぎない。実際、「無害」と判定された骨材を用いても、極端にアルカリ量が高い条件で、養生温度を上げたりすると、膨張する場合もある。



図 2-2 反応性のある骨材の分布状況（耐久性総プロ報告書より）

新設構造物では、アルカリ反応性のある骨材を使用しないに越したことはない。試験をして反応性がないと確認された骨材は、通常のコンクリートの使用条件では劣化を生じない。しかし、わが国では「無害でない」と判定される岩が図 2-2 に示すように各地に点在⁵⁾しており、「無害でない」骨材のみを選別して使うのは資源の有効利用の点から合理的とは考えられない。最近、試験する骨材のサンプリングの正確さや「無害」のラベリングの偽装等の問題や、多用されているモルタルバー法が6ヶ月を要し品質管理試験としては適当でないことなどが指摘されている。我が国の骨材事情、流通、現場の使用実態、品質管理の状況などを考慮すると、反応性骨材を完全に排除することは現状では困難である。そのため、セメント量がどうしても多くなる高強度コンクリートなどでは骨材を厳選して使用としても、それ以外の通常のコンクリートに対しては、次に述べるアルカリ総量の規制、アルカリ骨材反応の抑制効果のある高炉セメント、フライアッシュセメントや混和材料の使用を対策とすることの方が合理的であるという見方もある。筆者も改訂作業に携わった、2002年に改訂された国土交通省のアルカリ骨材反応対策の通達⁶⁾は、この考えに立って修正されている。

コンクリート中のアルカリ量の規制

コンクリート中のアルカリ総量を $3\text{kg}/\text{m}^3$ 以下にするとアルカリ骨材反応が顕在化することがほとんどなくなる。アルカリ総量は、セメント中に含まれるアルカリ量と単位セメント量の積で計算される。最近では、市販のポルトランドセメントのアルカリ量は低下傾向にあり（図 2-3）、比較的容易にアルカリ総量を $3\text{kg}/\text{m}^3$ 以下にすることが可能である。

しかし、高強度コンクリートでは単位セメント量が多くなるため、 $3\text{kg}/\text{m}^3$ 以下に抑えることが難しい場合がある。最近ではいろいろな面から、高強度コンクリートに低熱セメントが用いられることが増えているが、低熱セメントはアルカリ量が少なく、アルカリ骨材反応防止の面からもメリットがある。それでもアルカリ総量が抑えられない場合には、骨材を選定するなどの対策が必要である。

海水などの飛来や凍結防止剤の散布などの外来塩化物中に含まれるアルカリ成分は、コンクリート表面から供給されることになり、アルカリ骨材反応を生じさせる新たなアルカリ源とも言われている

7) 8)。しかし、塩化物イオンなどの陰イオンに比べ、陽イオンはコンクリート中の拡散速度は小さいようである。塩害地域でのコンクリート中への塩化物イオンの浸透深さを考慮すると、外来のアルカリ金属イオンがアルカリ骨材反応の発生そのものを促進する可能性はそう高くはないと筆者は考え、現在、別途検討を行っている。

セ
メ
ン
ト
中
の
ア
ル
カ
リ
量
%

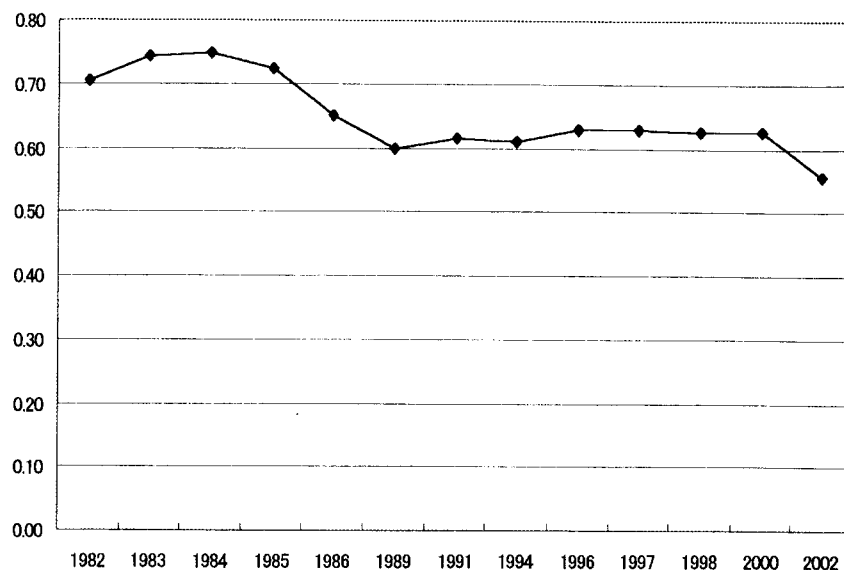


図 2-3 セメント中のアルカリ量の推移

(セメント協会統計より)

しかし、アルカリ骨材

反応を生じて、あるいは他の原因でひび割れが入ったコンクリートでは、こうしたアルカリ金属イオンが容易に内部に浸透し、劣化を促進させる可能性が高くなる。

抑制効果のあるセメント、混和材の使用

コンクリート用混和材として使用されている高炉スラグ微粉末⁹⁾、フライアッシュ¹⁰⁾、シリカフェーム¹¹⁾かなどをある量以上の率でセメントと置換して結合材として用いると、アルカリ骨材反応を抑制することが可能である。これは、このような混和材を使用すると、コンクリート中の細孔溶液中の OH⁻イオンの量を減らしたり、アルカリイオンを骨材のシリカより先に消費したりする効果があるためである。

ただし、そうした効果はこれら混和材の品質と置換率に大きく影響される。また、コンクリート中のアルカリ量のレベルによっても効果が異なる。フライアッシュやシリカフェームでは置換率が小さい場合には、ペシマム効果のためにかえってアルカリ骨材反応の膨張を助長する場合がある。

一般のコンクリートでは、混合セメントを用いるのが普通である。わが国では高炉 B 種セメントがアルカリ骨材反応対策として多用されてきていて、1986 年のアルカリ骨材反応抑制対策以降、全セメント消費量に占める高炉 B 種セメントの割合は急激に伸びた。現在でも、全セメント生産量が低下する中でも、高炉 B 種セメントは率としては微増の傾向がある。

わが国におけるアルカリ骨材反応対策の経緯

アルカリシリカ反応に関する規制の主なものは次のようなものがある。

昭和 59 年 6 月 建設省技術調査室通達「土木工事に係わるコンクリート用骨材の取り扱いについて」

ここでは、アルカリ骨材反応でひび割れを生じた構造物に対しては遮水措置をとること、過去にアルカリ骨材反応を生じたと思われる骨材に対しては ASTM の試験をして確認すること等が示されている。

昭和61年6月 建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」の成果を受け、建設省技術調査室から「アルカリ骨材反応暫定対策について」が通達される。

この通達では、骨材の選定、低アルカリ型セメント、抑制効果のある混合セメント等の使用、コンクリート中のアルカリ総量の抑制の4つの対策が示された。同時に、骨材の試験法として化学法とモルタルバー法の建設省暫定案が示された。

昭和61年10月 JIS A 5308「レデーミクストコンクリート」にアルカリ骨材反応対策が盛り込まれる。本文にアル骨の抑制方法を購入者に報告することが義務づけられる。

附属書1「レデーミクストコンクリート用骨材」に附属書7の化学法か、附属書8のモルタルバー法で試験し無害と判定された骨材でなければならないとした。ただし、附属書6「セメントの選定等によるアルカリ骨材反応の抑制対策の方法」に示された、低アルカリ型セメント、抑制効果のある混合セメント等の使用、コンクリート中のアルカリ総量の抑制の3つの対策を講じた場合には、無害と判定されない骨材も使用可能であるとした。

昭和61年10月 JIS R 5210「ポルトランドセメント」に低アルカリ形が規定される。

以降、関連 JIS が修正される。

昭和62年9月 JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に全アルカリ量が規定される。

平成元年7月 建設省技術調査室から「アルカリ骨材反応抑制対策について」が通達される。

この通達では、「アルカリ骨材反応暫定対策について」の通達のうち抑制効果のある混合セメント等の使用に関する記述と、化学法およびモルタルバー法の試験方法が小改訂されている。

平成元年12月 JIS A 5308「レデーミクストコンクリート」のアルカリ骨材反応対策関係の記述が修正されている。

平成2年2月 建設省技術調査室から「コンクリート構造物に使用する普通ポルトランドセメントについて」が通達される。全アルカリ量の上限が0.75%と規定される。

平成4年3月 JIS A 1804「コンクリートの生産工程管理用試験方法―骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（迅速法）」が制定される。」

平成14年8月 国土交通省 大臣官房 技術調査課 等より、「アルカリ骨材反応抑制対策」通達が出される。前年生じた、試験による骨材の反応性判定結果の偽装に対応するため、対策の優先順位を、土木では、「アルカリ総量規制」「高炉 B 種セメントの使用」「試験により無害と判定された骨材の使用」の順で、優先順位をつけた。

平成15年12月 JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」が改訂され、附属書2「アルカリ骨材反応抑制対策の方法」が見直された。従来の附属書6「セメントの選定等によるアルカリ骨材反応抑制対策の方法」が基本的には無害骨材の使用を優先させていたのに対し、新附属書では記述の順番を「アルカリ総量規制」「抑制効果のある混合セメントの使用」「安全と認められる骨材の使用」としている。

国際的なアルカリ骨材反応対策の検討

国際的な動向としては RILEM TC-191ARP で世界的に使えるアルカリ骨材反応対策指針を作成している¹²⁾。基本的な抑制方法は過去のものとは変わらず、以下の反応の必要条件のどれかを取り去ることを基本としている。

- ① 細孔溶液中の十分な量のアルカリ
- ② 限界量を超えるアルカリ反応性のあるシリカ
- ③ コンクリートへの十分な量の水分の供給

ただし、具体の対策となるとわが国のものとは若干異なる提案がなされている。まず、対象とする構造物の要求耐久性レベルを３段階に設定している。次にコンクリートがおかれる環境、主に水分の供給レベルを設定３段階にしている。このふたつの要素の組み合わせに応じて、コンクリートへのアルカリ骨材反応抑制配慮のレベルを設定している。配慮のレベルに応じて、コンクリート中のアルカリ総量の上限を指定したり、混和材の置換率の下限を指定している。こうしたやり方は、最近のコンクリート関係の欧州規格類に共通する手法である。

新しい項目としては、骨材中のアルカリの溶出に触れたり、リチウムイオンの抑制効果に言及したりしている点である。

この RILEM の対策指針が示されたことで、わが国の対策を根本的に見直す必要はなさそうであるが、いくつかの項目の微修正は検討しなければならないと考える。

2-3 維持管理に関するこれまでの対応

アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の維持管理の実態については、これまであまり系統だった調査等を行われてきていない。表 2-1 は筆者が主査を務める、土木学会 コンクリート委員会 アルカリ骨材反応対策小委員会（ASR 小委員会）の実態・メカニズム WG で行った、アルカリ骨材反応劣化構造物に対する維持管理の実態に関する聞き取り調査結果の概略をまとめたものである。

アンケートは、土木構造物の管理者 A から H に対して行い、質問項目は次のようである。

- Q 1 貴所属機関では昨年までの段階で、アル骨を意識した構造物の維持管理を実施してきたか？
- Q 2 そうであれば、いつ頃から、どの程度の位置づけで調査などを実施したか
- Q 3 どの程度実態を把握しているか
- Q 4 アル骨による構造物の劣化事例はあるか？

この結果を見ると、管理者 A、B、D、G はアルカリ骨材反応を特別な、あるいは注目すべき点検対象としていることが伺える。管理者 D は、アルカリ骨材反应用の維持管理要領を策定している。その他の管理者では、特定の時期に調査を行ったりはしているものの、その後の維持管理では特別な配慮は行わずに、その他の劣化と同列に扱っていることが伺える。

これは、最初にアルカリ骨材反応が注目された時期に、それぞれの管理者が抱えるアルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の状態がかなり異なっていたことによるものと推察される。

最初に大きな耐久性問題の引き金のひとつとなったアルカリ骨材反応が見つかったのは、阪神高速道路公団管理の道路である。1979 年に 14 号松原線の山王地区の RC 橋脚において異常なひび割れが確認され、1982 年にアルカリ骨材反応による劣化であることが確認された。これを機に、調査の方法、耐荷力の評価、対策の検討がなされ、1985 年には「アルカリ骨材反応に対するコンクリート構造物の管理指針（暫定案）」が、1989 年には「コンクリート構造物の表面保護工便覧（案）・同解説」が制定され、維持管理方針や対策が整備された。

表 2-1 アルカリ骨材反応劣化構造物に対する維持管理の実態に関する聞き取り調査結果

	A	B	C
Q1	毎年の点検で実施	通常の維持管理の一環として実施	実施してきた
Q2	s50 代から、重要調査項目として実施、 継続中 s50-60 に骨材調査→怪しい骨材を排除	s50 後半-60 頃から 建設・管理とも対処している	s50 代頃から対策を実施
Q3	ほぼ全構造物を目視調査 ひび割れ構造物リストアップ 必要に応じて詳細調査	主だった状況は把握済み 骨材の状況を調査している	構造物リストアップ
Q4	一部の限られた構造物にあり	一部地域に確認 状況により対処を実施	劣化事例はある
その他	注入、塗装などの処理済み	ASR を特別視していない	

	D	E	F
Q1	維持管理要領を作成し、ASR を意識した維持管理を実施	特定の構造物で数年間のみ調査	通常は意識していない 〇〇県のみ意識している
Q2	s57 に ASR を認定するに至る 過程で原因究明の調査を実施 →重要な調査項目と位置づけ	s61 s61 に疑わしいと公表した 3 基の 橋脚を、その後補修	s60 頃に調査を実施 h10 以降 〇〇県で試験
Q3	疑いのある構造物をリストアップ 詳細調査と補修・補強工事を 実施中	ある路線の橋脚を調査 反応生成物、反応性のある骨材を 有する構造物数を把握 (→ HP で 公開中)、他の路線で調査中	あまり把握していない
Q4	一部は劣化が進行し、鉄筋が 破断	強度不足 1 基 鉄筋破断等 1 基	一部地域では多数ある 無筋に被害が多い 〇〇県 鉄筋破断
その他		補修後特別な対応はなし	

	G	H
Q1	かねてより実施	s59 主要構造物で外観調査 それ以降は定期点検
Q2	開始年は不明 ひび割れの措置、防水対策の必要性から ASR の疑いのある構造物を抽出→対処	同上
Q3	△△線は統一した調査で疑いのある構造物を リストアップ →膨張 potential を試験中 □□線は個別機関で把握 (統計なし)	反応性骨材を使用した構造物は特定済み ひび割れ幅などから問題ないと判断している
Q4	ある。一部は劣化が進行し、6 構造物で鉄筋 が破断	ある構造物の基礎 1 基のみが劣化が進行
その他		ひび割れ幅 0.2mm 以上は注入補修

一方、旧建設省などでは、昭和 60 年前後に一部のアルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物で対策を実施したものの、全国的に見ると系統だった対応はなされず、通常の劣化のひとつとして個別の対応がなされてきていた。

なお国土交通省では、全国の道路橋の維持管理を適切に行うため、平成 16 年度より塩害とアルカリ骨材反応に関して、それぞれの「対策検討委員会」を設けて、対策手引き等の作成、個別橋の対策方針の検討等を系統的に行うこととしている。

2-4 既往の研究

アルカリ骨材反応に関する研究は、発生メカニズムに関するもの、骨材の反応性に関するもの、ひび割れ発生に関するもの、抑制対策に関するもの、維持管理に関するもの、補修に関するものなど、非常に多岐にわたっている。ここ数年ではさらに、鉄筋破断の実態やメカニズムに関するものが出てきている。これらの概要をここで紹介するのは難しく、筆者が幹事長を務めた土木学会コンクリート委員会「耐久性データベースフォーマット作成小委員会」の報告書¹³⁾でも紹介されているので、それに譲ることとする。

ここでは、本論文の目的である、①アルカリ骨材反応劣化構造物の実態の把握、②構造物の今後の劣化の進展の統計的な予測、③個々の構造物の今後の劣化の進展の予測、④検査・点検の着眼点と検査方法の確立、⑤補修（補強）の必要性の判断基準の提案、に関連する既往の研究を概観する。

①アルカリ骨材反応劣化構造物の実態の把握

日本では、1951 年に最上川産骨材を使用した橋梁のコンクリートで初めてアルカリ骨材反応が報告された。この時、全国から集められた 104 種類の骨材の反応性が調べられ、その内の 2 種類の骨材に反応性があることが報告されている¹⁴⁾。また、1965 年には鳥取県皆生海岸砂利を用いた RC 建築物のコンクリートの被害例が報告されている¹⁵⁾。しかし、1)の研究において大多数の骨材は無害とされたことや、その後 1983 年までの報告事例がわずかであったため、国内の骨材は全般的にアルカリ骨材反応を生じにくいという説が一般的となったと言われている。

その後、関西地区で劣化事例が報告されるようになった。まとまった劣化構造物の実態報告としては、阪神高速道路公団が設けた「アルカリ骨材反応に関する調査研究委員会」の報告書¹⁶⁾がある。この報告書には、「松原線 T 型橋脚」の変状の詳細報告、「阪神地区の骨材特性」や「劣化構造物の耐荷力」、「補修方法」の検討結果が示されている。1986 年 11 月号のコンクリート工学誌「特集*アルカリ骨材反応」には、わが国¹⁷⁾と外国¹⁸⁾のアルカリ骨材反応による構造物の劣化形態を紹介したものがある。その後、散発的には個別の劣化事例の報告¹⁹⁾が数多くなされているが、まとまった報告はほとんどなされていないのが現状である。なお、補修補強に関連して、損傷形態の事例を紹介した文献としては、最近久保らがまとめた解説²⁰⁾がある。

②構造物の今後の劣化の進展の統計的な予測

現在、わが国では、これに関連する論文等はほとんどないようである。統計的とまでは行かないが、複数の劣化構造物を追跡調査した事例としては、阪神高速道路公団からの報告²¹⁾や建設省の浜手バイパス・宿院高架橋の報告²²⁾がある。前者の報告のもととなったデータなどは、使い方によっては

構造物の劣化進展の統計的な予測につながる可能性は高い。後者の報告は、残念ながら構造物の材齢は 15~17 年までであり、長期の進展予測には使えない。

③個々の構造物の今後の劣化の進展の予測

現在、わが国では、これに関連する論文等は数少ない。コンクリートライブラリー 104²³⁾では「2001 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕に則り、劣化予測を行うことを試みてはいるが、現場で補修の必要性判断などに役立つような具体的な記述までには到っていない。一方、アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物劣化のモデル化は、塩害のモデル化に較べて難しいようで、研究論文はほとんどない。骨材の特性から膨張量の推定を試みている例²⁴⁾あるいはコアの膨張量から将来の膨張量推定を試みている例²⁵⁾などがいくつかあるくらいである。当然ながら、これらは現場の構造物の劣化進展予測で役に立つレベルからはほど遠い。

④検査・点検の着眼点と検査方法の確立

この問題に関しては、非常に多くの図書²⁶⁾が出されている。その集大成とも言えるのが、日本コンクリート工学協会の「コンクリート診断技術」²⁷⁾である。しかし、いずれも正確な維持管理のためには、多くの試験を行うことを前提としており、どちらかという研究者向けという感を免れない。例えばほとんどの図書で、コンクリート構造物の劣化原因がアルカリ骨材反応によるものかどうかの判断に、骨材の試験、ゲルの確認試験、コアの残存膨張量試験、コアの強度・ヤング率試験等を行うことを推奨していて、それらの結果を基に総合的な判定を行うことにしている。現場で、数少ない情報から、適切な結論を導くようなもの²⁸⁾は少ない。個別の研究報告²⁹⁾も少なくないが、汎用性をもたせる段階までには到っていないようである。

⑤補修（補強）の必要性の判断基準の提案、

上記④の図書類ではほとんどの場合、構造物の劣化原因がアルカリ骨材反応であると判断されると、自動的に何らかの補修・補強を行うことを前提としていて、補修・補強の必要性の明確な判断基準を示してはいない。前述した阪神高速道路公団の「アルカリ骨材反応に関する調査研究委員会」の報告書¹⁶⁾の「補修方法」の部分でも、アルカリ骨材反応と判定された段階で、何らかの補修・補強を行うこととしている。なお、調査対象となる構造物が既にかかなりのひび割れが生じているものであるため、アルカリ骨材反応と判定されなくても表面保護工による補修は行うことにしている。

上記図書以外にも、補修に特化した図書³⁰⁾も多い。それらでは、補修を行うことを前提としているためか、アルカリ骨材反応に限らず補修の必要性の議論がなされていないものもある。あえて非常に難しい「明確な判断基準」を示していないとも考えられる。

最近では、実務者からの疑問にインターネットの HP で回答するサイトも増えている。コンクリート分野で、比較的権威のあるものとしては土木学会のもの、日本コンクリート工学協会のもの、日経コンストラクションのもの等がある。最新の情報が得られる便利なものである。

日経コンストラクションのサイト³¹⁾では、アルカリ骨材反応に関していくつかの Q&A が見られる。「ひび割れの原因がアルカリ骨材反応であるか否かを判断するにはどのような試験をすればよいのか。また、仮にアルカリ骨材反応によるひび割れと判断された場合、どのような対策が必要か」という問いに、「外観上の特徴からアルカリ骨材反応の進行が疑われたら、コンクリートコアを採取して促進養生試験を行う。そこで膨張挙動が見られれば、アルカリ骨材反応と判断することができる。」

としていて、やはり外観からだけの判断は避けていて、コアの促進養生膨張試験を勧めている。さらに、補修については、「いまのところ、アルカリ骨材反応による損傷の発生や進行を完全に食い止められる補修工法はない。外部からの水分を遮断し、損傷の進行をできるだけ抑制する対策を講じているのが現状だ」としながらも、「予防的対策として表面被覆などを施しておけばいい」としている。このような回答が現状では常識的なものであると考えられるが、目視に頼らず試験を推奨しながらもその判定基準は明確でなく、アルカリ骨材反応であれば何らかの補修・補強を行うことを推奨していて、従来からの対応と変わるところはないようである。

2-5 これまでの対応の問題点

アルカリ骨材反応の研究や技術開発は、コンクリートクライシスで最初に注目された阪神地区でスタートした。阪神高速道路公団をはじめとするいくつかの機関で維持管理の技術的な検討がなされ、実施されてきている。一方、2-3 で見たように構造物の管理者によっては、アルカリ骨材反応の存在は知っているものの、実際の維持管理に特別な配慮をせずに来ているものも多い。

詳細は後述するが、道路橋に対する実態調査でも、それまでは特別な意識をしていなかった管理者が、調査を行ってアルカリ骨材反応の存在を意識したとたんに、「即補修」を考えることが多い。これは、アルカリ骨材反応に特有の問題ではなく、一般の建物でも、普段の生活でコンクリートのひび割れを特段意識していなかった人に、ひび割れの存在を知らせると、とたんに心配になるのと似ている。問題は、そのような反応をしたとたんに、過剰な対応を取りがちであることである。現実には劣化が軽微な多くのアルカリ骨材反応劣化構造物では、何ら補修を行わなくとも、20年以上にわたって目立った劣化進行もなく供用されているという事実を忘れ、ひび割れを何とかしなければという意識が先に立つようである。この問題の最大の原因は、アルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物の劣化シナリオを、我々研究者が示してこなかったことにあると考える。

また、補修を行う際も先例に倣う場合が多く、過剰な対応、あるいは効果の薄い対応を行うことも少なくない。このことを考慮すると、例えば阪神高速道路公団等の事例が全国的な標準となりうるかどうか検討が必要である。

また、コンクリート構造物がアルカリ骨材反応らしいとなった際に行う調査にも大きな問題がある。筆者はアルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物の大部分は、目視により判断が可能であると考えている。もちろん、判断が難しい事例もある。しかし、前述したようにほとんどの関連図書で、コンクリート構造物の劣化原因がアルカリ骨材反応によるものかどうかの判断に、骨材の試験、ゲルの確認試験、コアの残存膨張量試験、コアの強度・ヤング率試験等を行うことを推奨している。判定に100%を期せばこのような一連の試験が必要であろうが、現実には目視で「アルカリ骨材反応である」と判断した以上の有用なデータを示す場合は少ない。目視では判断が難しい場合や、補強が必要なほど劣化が進んだ場合には、複数の試験を実施する必要も出てくる場合があるが、そう多くはないと考える。

この問題の最大の原因は、どこまで目視で判定できるか、目視で判定できない場合に適切な結論を導くため、いかに数少ない試験を効率的に実施したらよいか等の情報を、我々研究者が示してこなかったことにあると考える。こうした問題は、実はアルカリ骨材反応だけの問題ではない。研究や技術開発に携わるものは、往々にして技術メニューの羅列を行う傾向にある。例えば、コンクリート構造

物の竣工検査や維持管理時の診断における非破壊検査を扱った図書類は多いが、数多くの手法を解説してはいるものの、現場で本当に有用でコストパフォーマンスのよい手法を限定しているものは少ないと感じている。そうした分野の専門家にとってはこのような情報の方がありがたいが、現場で実務に携わる人にとっては必ずしも、そうではない。同様のことは補修材や補修工法についても言えることである。一時、医療の世界で、検査漬け、薬漬けが問題になったことがある。現在では、ずいぶんと解消されてきている。コンクリート構造物の維持管理はまだこの「検査漬け、薬漬け」の段階にあるのではないかと考える。劣化した構造物に対し、真に必要な検査、真に必要な補修を現場に対して示していかなければならない状況にあると考える。

【参考文献】

- 1)例えば、小林一輔、和泉意登志、出頭圭三、睦好宏史：コンクリート事典、P2-3、2001 等
- 2)例えば、小林一輔、丸章夫、立松英信：アルカリ骨材反応の診断、P27-38、1991 等
- 3)君島健之：「セメントの未来を考える」、セメント・コンクリート No.661、pp.10-21、2002.3
- 4)鳥居和之：「骨材のアルカリシリカ反応性の品質保証」、コンクリート工学 Vol.39 No.5、p.68-71、2001.05
- 5)古賀裕久、河野広隆：「骨材のアルカリ骨材反応性に関する全国調査結果」
第59回土木学会年次大会論文概要集 V 5001、2004.09
- 6)国土交通省 大臣官房 技術調査課 「アルカリ骨材反応抑制対策」通達、2002.08
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/13/130801_.html
- 7)例えば、コンクリート工学協会：「融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書」
1999.11
- 8)羽瀧貴士他、「塩分環境下におけるコンクリート構造物の ASR 損傷度の評価」、
コンクリート工学年次論文集 Vol.25、No.1、2003.06
- 9)小林茂敏他：「高炉スラグ微粉末による A S R 抑制に関する共同研究報告書」
土木研究所資料第 2527 号 1987-12
- 10)桑原啓三他：「フライアッシュによる A S R 抑制に関する共同研究報告書」
土木研究所資料第 2653 号 1988- 3
- 11)A Dunster, P.J.Nixon, H.Kawano : The effect of silica fume to reduce expansion due to ASR in concrete
/ 5th Intl. Conf. on Durability of Building Materials and Components / Nov.,1990, Brighton, UK
- 12)P.J.Nixon 他 : Developing an international specification to combat AAR proposals of RILEM TC 191-ARP
/ 12th Intl. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete / Oct.,2004, Beijing, China
- 13)土木学会：コンクリートライブラリー 109「コンクリートの耐久性に関する研究の状況とデータベース構築のためのフォーマットの提案」、2002.12
- 14)近藤泰夫、北川欽一：アルカリ・骨材反応に関する研究、セメント技術年報、Vol.5、pp.379-398、1951
- 15)村田清逸、関慎吾、他 1 名：アルカリ骨材反応を起こしたコンクリートの一例、
セメント・コンクリート、No.220、pp.7-13、1965
- 16)阪神高速道路公団：アルカリ骨材反応に関する調査研究委員会報告、1986 年 9 月
- 17)小野紘一：「アルカリ骨材反応による構造物の劣化の実態－日本における例」、
コンクリート工学誌「特集*アルカリ骨材反応」Vol.24、No.11、p.50-56、1986.11

- 18)西林新蔵：「アルカリ骨材反応による構造物の劣化の実態－外国における例」、
コンクリート工学誌「特集*アルカリ骨材反応」Vol.24、No.11、p.57-63、1986.11
- 19)例えば、池富修他：「ASR が発生したコンクリート構造物の耐久性調査」、
コンクリート工学年次論文集、Vol.24-1、pp.1105-1110、2001.07 等
- 20)久保善司他：「アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化損傷事例と最新の補修・補強技術」
コンクリート工学誌 Vol.40、No.6、p.3-10、2002.06
- 21)松本茂他：「ASR 損傷を受けた橋脚の追跡点検事例」コンクリートの耐久性データベースフォー
マットに関するシンポジウム論文集、pp.27-32、 2002.12
- 22)道路保全技術センター：「浜手バイパス・宿院高架橋におけるアルカリ骨材反応の対策方法に関す
る検討業務」報告書、2002.03
- 23)土木学会：コンクリートライブラリー 104「2001 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕
策定資料」、p.74-83、2001.01
- 24)例えば、王鉄成他：「AAR 膨張予測に関する基礎的研究」
コンクリート工学年次論文集、Vol.20-2、pp.949-954、1998.07 等
- 25)例えば、武田均他：アルカリ骨材による構造物の変状の進行予測、コンクリート構造物の補修、補
強、アップグレード論文報告集 第4巻 p.103 2004.10 日本材料学会
- 26)例えば、中部セメントコンクリート研究会：「コンクリート構造物のアルカリ骨材反応」
理工学社 1990.11
- 27)日本コンクリート工学協会：「コンクリート診断技術'04」基礎編 p.169-176 と p.195-198
- 28)土木研究所、日本構造物診断技術協会：「非破壊検査を用いた土木コンクリート構造物の健全度診
断マニュアル」技報堂出版 p.201-211、2003.10
- 29)例えば、山梨竜揮他：「アルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物の劣化評価手法に関する
研究」コンクリートの耐久性データベースフォーマットに関するシンポジウム論文集、pp.21-26、
2002.12
- 30)例えば、「これから始めるコンクリート補修講座」日経コンストラクション 2002.04
- 31)日経コンストラクション：「コンクリート補修 Q&A コーナー」
<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/NCR/QA/>

第3章 1999全国調査に見るアルカリ骨材反応による コンクリート構造物劣化の実態

3-1 1999全国調査の全体概要

コンクリート構造物は、安全性や経済性の面で優れた特性を有しており、住宅・社会資本として活用されているコンクリート構造物のストック量は膨大なものになっている。これらコンクリート構造物の品質を確保するため、従来から使用材料や設計方法、施工方法等に関する規格・規準類が整備されており、また、築造された後には、その安全性・使用性を確保するため、点検および必要に応じた補修・補強等の維持管理が行われてきている。

しかしながら、1999年、コンクリート構造物から剥離したコンクリート塊が落下した事例が引き金になって、多くの事例がマスコミで報道された。そしてコンクリート構造物全体の安全性に対する信頼が低下し、従前以上に適切な建設・維持管理が望まれるに至った。このような状況をふまえ、旧建設省、旧運輸省、農林水産省では、平成11年9月に「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」

表 3-1 実態調査の目的

調査の種類	目的	主な調査項目	調査箇所数	
			旧建設省	三省全体
基本	土木コンクリート構造物の劣化状況について、概要を把握する。特に竣工年代や構造物種類による差異を見る。	竣工年、周辺環境、目視による変状（ひび割れ等）観察	2099*	2,645
詳細	実構造物に用いられているコンクリートの品質や劣化の程度をコア試料を採取して把握する。	中性化深さ、コア圧縮強度、塩化物イオン量	152	193
生コンクリート	打込み直前のレディーミクストコンクリートについて、抜き取り調査を行い、現状を把握する。	配合、スランプ、空気量、28日圧縮強度	100	旧建設省のみ実施

* 本論文で報告する調査結果

を設置し、コンクリートの製造から施工までの建設プロセス及び維持管理の今後のあり方について検討を行った。検討の結果は、平成 12 年 3 月に「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言」¹⁾として発表された。本章では、この「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」での検討に資するため、平成 11 年 9 月から 11 月の間に実施した「土木コンクリート構造物に対する実態調査」(以下、実態調査)の結果を示し、その中でアルカリ骨材反応による劣化構造物の実態を見ることとする。

実態調査では、既存コンクリート構造物の耐久性に関する実態を多角的に検討するため表 3-1 に示す 3 種類の調査を行ったが、本章では、基本調査のうち旧建設省の各地方建設局、および北海道開発局、沖縄総合事務局が調査を担当し、土木研究所で調査結果の分析を担当した事例について示す。三省で調査した結果の全てをとりまとめた結果については、「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言」の解説資料として文献 1) 中に報告がある。また本章を含んだ基本調査の全体と詳細調査については、土木研究所資料第 3854 号「既存コンクリート構造物の健全度実態調査結果－1999 年調査結果－」等^{2) 3) 4) 5)}として報告している。本論文に含まない生コンクリート調査の結果は、土木研究所資料第 3838 号「レディーミクストコンクリートの品質実態調査－(2)1999 年調査結果－」⁶⁾として報告している。

3-2. 調査方法

3-2-1 概要

本調査では、全国のコンクリート構造物の健全度を総合的に把握するため、構造物の種類や竣工年代が異なる事例を調査対象としてランダムに多数選定し、目視等による調査を行った。調査対象の構造物では、構造物の諸元や周辺環境に関するデータを書面で調査し、目視で観察できるひび割れやコンクリートのはく離等の変状を現地で調査した。ただし、調査期間等の制約もあり、原則として地上から目視で点検できる範囲で実施し、点検車や足場の設置は行わなかった。このため、細かいひび割れ、地下部の変状、表面には現れない浮きなどの変状については、必ずしも十分には捉えきれていない可能性はある。調査は、各構造物の管理担当者が実施した。基本調査で行った調査項目を表 3-2 に整理する。

調査対象とした構造物の種類は、橋梁上部構造、橋梁下部構造(1 基の橋台または橋脚を 1 つの構造物としてあつかった)、擁壁、カルバート、河川構造物(樋門、樋管、用水施設等)、トンネル(道路トンネル)の 6 種類である。構造物の竣工年代については、1964 年以前に竣工したもの、1965 年から 1974 年の間に竣工したもの、1975 年から 1984 年の間に竣工したもの、1985 年以降に竣工したものの 4 つの年代に区切って整理した。これは、1970 年前後の構造物に問題が多いとの指摘があったこと、1985 年前後に相継いで各種の耐久性向上対策がとられたことなどを考慮したものである。各地方建設局等が所轄する都道府県の単位ごとに、構造物の種類および竣工年代が異なる調査事例を 2 件ずつ選定することを基本とした(表 3-3)。ただし、地域によっては上記に該当する構造物が選定できない場合もあった。調査した構造物の総数は最終的に 2099 件であった(調査数の詳細については、「3-3. 調査した構造物の概要」に示す)。

基本調査は 1999 年 9 月～10 月の期間に実施した。ただし、橋梁台帳等により劣化の程度が把握可能なものについては、そのデータを用いることにした。付録 I に今回の調査で使用した調査票を示す。

3-2-2 劣化度の判定

本調査では、各構造物に生じたひび割れやコンクリートのはく離等の変状の有無や程度を記録した。しかし、各構造物の大きさ（調査面積）や周辺環境は様々であることから、変状の程度を定量的に評価することは困難であった。例えば、調査面積が違う場合に、ひび割れの総延長を比較することにはあまり意味がなかったし、単位面積当りのひび割れ密度に関しては記録するひび割れ幅の基準などが統一していなかったためである。

そこで、本調査を行った 2099 件の構造物を対象として、写真や図面等を参考にして劣化の程度および劣化要因の推定を行い、コンクリート構造物の耐久性に関する実態を把握することとした。なお、本調査で得られる情報は限られており、構造物としての補修の要否を適切に判断することは困難である。そこで、調査箇所のコンクリート部材としての劣化の度合いを判定することとし、「橋梁点検要領（案）」の損傷度判定標準⁷⁾を参考に表 3-4 のように定めた 5 段階の劣化度を用いて劣化度の判定を試みた。なお、トンネルは無筋の構造物であり、他の構造物とは劣化機構も異なっていると考えられることから、ひび割れ箇所等からコンクリート片がはく離し、通行者に危害を加える危険性に重点を置いて判定した。

各劣化度に該当する事例の写真を 30 ページ以降に紹介する。

また、劣化が認められた事例については、劣化原因の推定もあわせて行った。劣化原因は表 3-5 に示すものから該当するものを選択したが、資料の関係で原因を特定することが難しい場合も多く、このような場合は“不明”とした。なお、表 3-5 中の「コンクリート低品質」は劣化の要因となるものと劣化の結果となるものが混在している。今回の調査では、判定を主に写真と図面、および構造物の種類や位置などの基本データによっているため、原因を特定することが難しいものが少なくなかった。このため、便宜的に変状の劣化要因を「コンクリート低品質」としているものがある。

劣化度の判定は、筆者を含む 7 名の判定者が分担し、次の手順で行った。

- 1) 判定者の一人が、特に劣化度の判定に迷いそうな事例を構造物種類ごとに 10 事例程度、合計では 74 事例選定した。
- 2) 選定された 74 事例について、判定者全員が劣化度の判定を行った。
- 3) 判定者間で意見が分かれた事例については、判定根拠について議論し、各劣化度が意味する変状の程度についてイメージを共有した。
- 4) 構造物種類ごとに分担して劣化度を判定した。なお、一つの構造物について 2 名の判定者が担当し、意見を調整することとした。

表 3-2 調査項目

種類	調査項目	調査票
構造物の概要	調査年月日 構造物名・所在地 構造物の型式 竣工年 コンクリートの設計基準強度 点検・補修履歴 周辺環境（海からの距離，凍結防止剤の使用等）	調査票－1
目視調査	豆板，変色の有無 ひび割れ（有無，程度） コンクリートのはく離（有無，程度） さび汁（有無，程度） 鋼材の露出（有無，程度） ハンマーによるたたき調査（可能な範囲で行った） 図面・写真の収集（全体写真，変状部位の写真）	調査票－2

表 3-3 調査数（計画，各地方建設局あたり）

竣工年	構造物種類					
	橋梁 上部構造	橋梁 下部構造	擁壁	カルバート	河川構造物	トンネル
～1964	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数
1965～1974	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数
1975～1984	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数
1985～	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数
計	48 × 県数					

※表中では簡略のため県数と示したが，都・府も同様である。

ただし，北海道では各10件程度選定した。

※調査数の詳細については，「3-3. 調査した構造物の概要」を参照のこと

表 3-4 劣化度判定基準

○トンネル以外の構造物

劣化度	一般的状況
V	劣化が著しく、補修・補強を行う必要がある。劣化のため構造物の耐力や使用性が低下していることが明白なもの。
IV	劣化が著しく詳細調査を行い、補修するかどうか検討する必要がある。劣化のため構造物の使用性に悪影響が出ているおそれがあるもの。あるいは、放置するとさらに劣化が進行することが十分に予想されるもの。
III	劣化が認められ、追跡調査を行う必要がある。現時点では即座に構造物の使用性に影響を与えないが、将来的には劣化が進行することも予想されるもの。
II	劣化の兆候が認められる。軽微なひび割れや錆汁等が認められ、条件によっては劣化が進行することも予想されるもの。
I	劣化の兆候が認められず、健全な構造物

○トンネル

劣化度	一般的状況
V	はく離・剥落の危険性が明白な部分があり、ただちに補修を行う必要がある。
IV	はく離・剥落のおそれがある部分が複数あり、補修するかどうか検討する必要がある。例えば、打音検査で異常音が認められた箇所が多数存在するもの。
III	はく離・剥落のおそれがある部分がある。例えば、打音検査で異常音が認められた箇所が存在するもの
II	はく離や剥落につながる可能性のある部分がある。例えば、ひび割れやコールドジョイントの存在が目立つもの。
I	はく離や剥落の兆候が認められず、健全な構造物

※YYページに事例写真を掲載した。

表 3-5 劣化要因の定義

劣化要因	劣化の状態（複数回答）
コンクリート 低品質	（下記の兆候から硬化したコンクリートが低品質である可能性がある） ・打ち込み不良による豆板の発生や骨材分離が目立つもの ・コールドジョイントの目立つもの ・遊離石灰等による表面変色が著しいもの ・コンクリート表面のざらつき、骨材露出などの変状が顕著なもの ・コンクリートのひび割れが目立つもの
配筋不良	・鋼材の露出が認められるもの ・多量の錆汁が認められる場合で、塩分の大量供給が考えにくいもの
アルカリ骨材反応	・アルカリ骨材反応に特有の亀甲状のひび割れが認められるもの
塩害	・塩分が外部から供給される環境にあり、鋼材の腐食が認められるもの
凍害	・凍害が予想される地域で、コンクリートの凍結融解に起因する角欠け等が認められるもの
不明	・原因を特定することが難しいもの

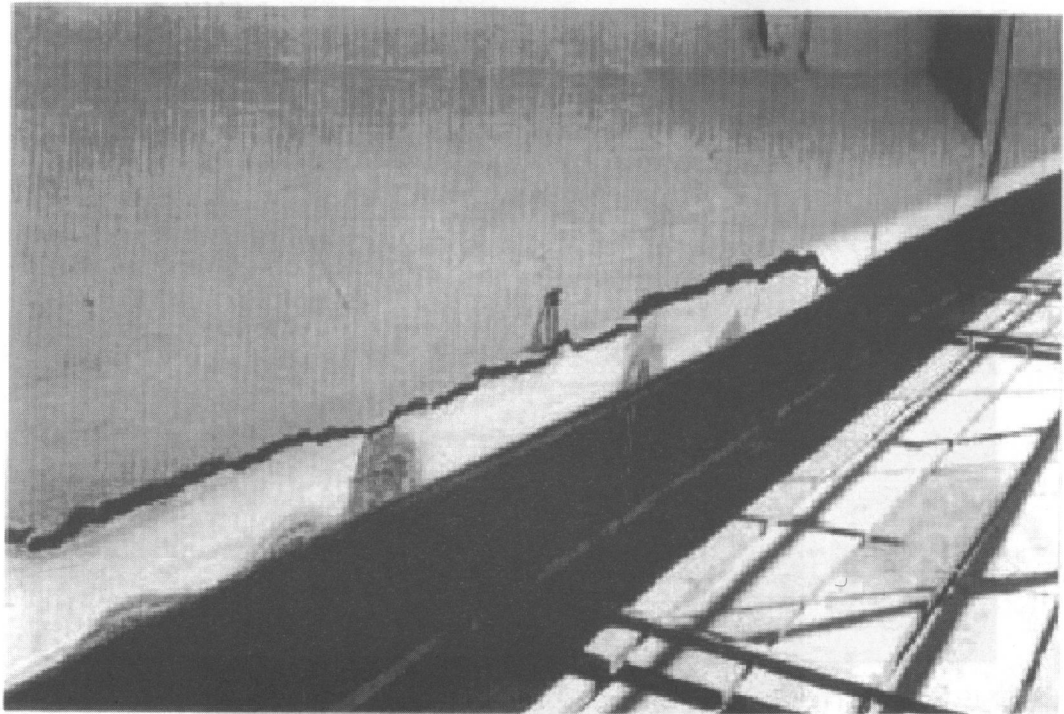


写真 3-1 劣化度 V の事例(塩害, 橋梁上部構造)

※プレストレストコンクリート主桁に塩害による大きなひび割れが発生している事例。二回目の断面修復補修が実施されている途中である。劣化度 V には、この他にも RC 橋上部構造の塩害による劣化事例があった。

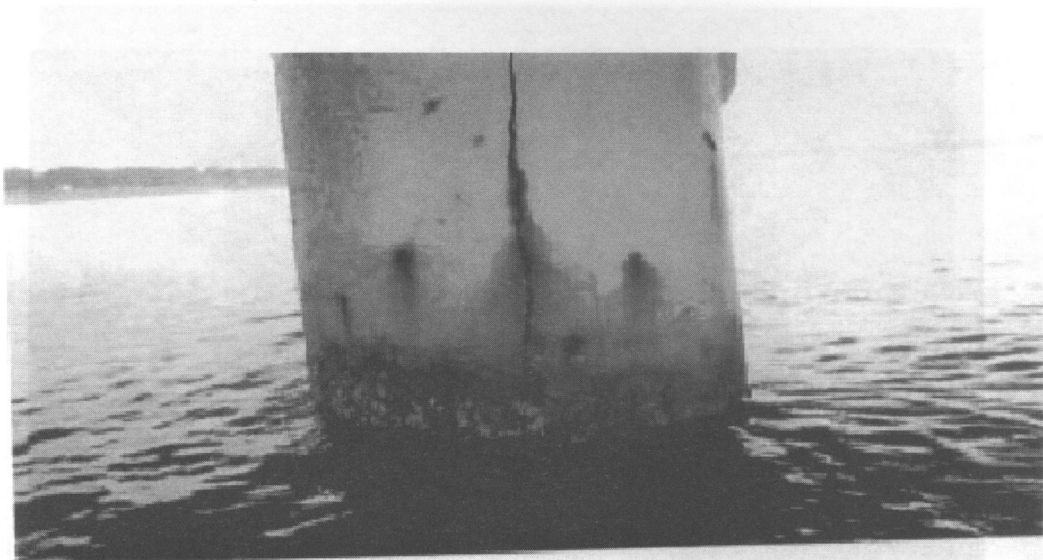


写真 3-2 劣化度 V の事例(塩害, 橋梁下部構造)

※海中に位置する橋脚で塩害による鉄筋の腐食が見られる事例。表面被覆による補修が行われているが、再度劣化し大きなひび割れが見られる。



写真 3-3 劣化度Ⅴの事例(剥落のおそれ, トンネル)
※二本のひび割れが平行して存在し, 剥落のおそれがある箇所

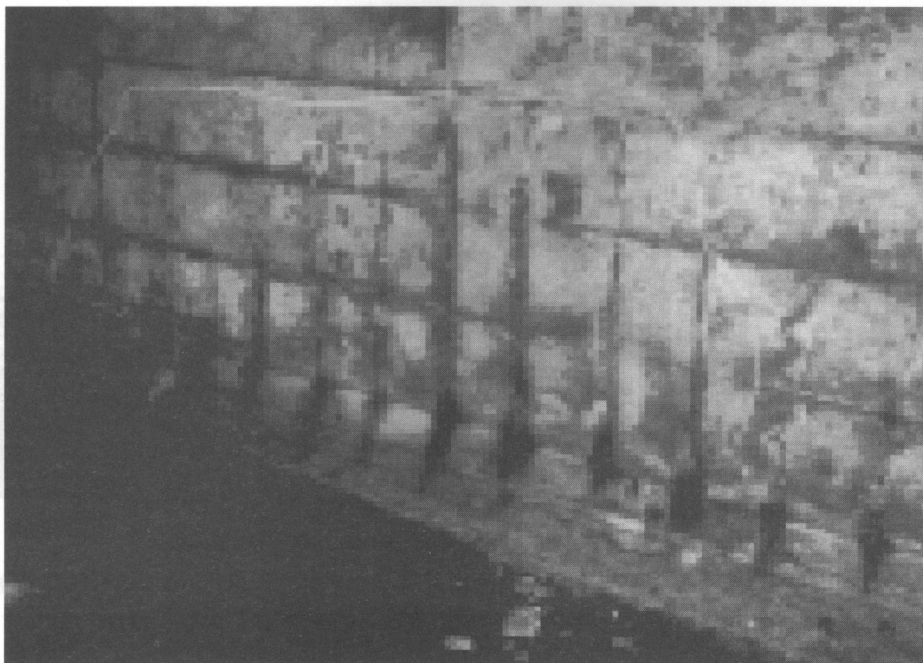


写真 3-4 劣化度Ⅳの事例(塩害・かぶり不足, カルバート)
※海に注ぐ水路用のカルバートで, 連続的に鉄筋が露出している。鉄筋の著しい腐食は, 海からの塩分の影響を受けているものと考えられる。



写真 3-5 劣化度Ⅳの事例(ジャンカ, 橋梁下部構造)

※範囲の広いジャンカの事例。この構造物には、他に鉄筋の露出や錆汁が見られる箇所等があり、劣化度Ⅳと判定された。



写真 3-6 劣化度Ⅳの事例(アルカリ骨材反応, 擁壁)

※アルカリ骨材反応に特有なひび割れパターンが見られる擁壁。反応生成物と見られる白色の析出物も非常に目立つ。



写真 3-7 劣化度Ⅲの事例(アルカリ骨材反応, 橋梁下部構造)
※アルカリ骨材反応に特有なひび割れパターンが見られる橋台。



写真 3-8 劣化度Ⅲの事例(凍害, 橋梁下部構造)
※水みちとなっている部分で凍害による角欠けが見られる橋台



写真3-9 劣化度Ⅲの事例(コンクリートの流動跡, トンネル)
 ※トンネルのアーチクラウン(写真ほぼ中央)からスプリングライン付近にかけて、
 打設時にコンクリートが流動した跡が明瞭に見られる事例。場所によってはコー
 ルドジョイントとなり比較的大きなひび割れが生じており、劣化度Ⅲと判定され
 た。

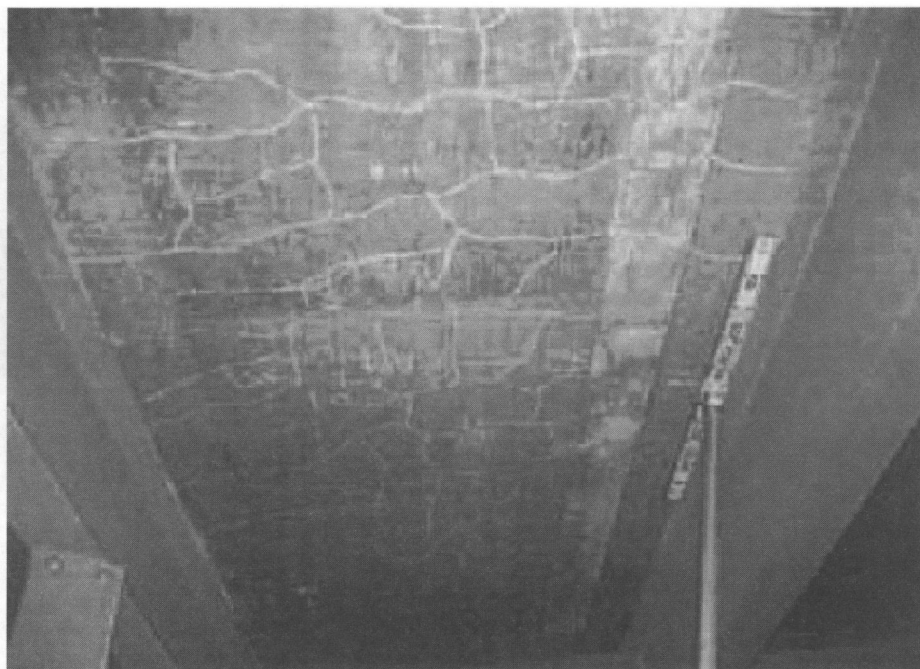


写真3-10 劣化度Ⅱの事例(床版のひび割れ, 橋梁上部構造)
 ※繰返し荷重の影響で床版にひび割れが生じていると考えられる事例。

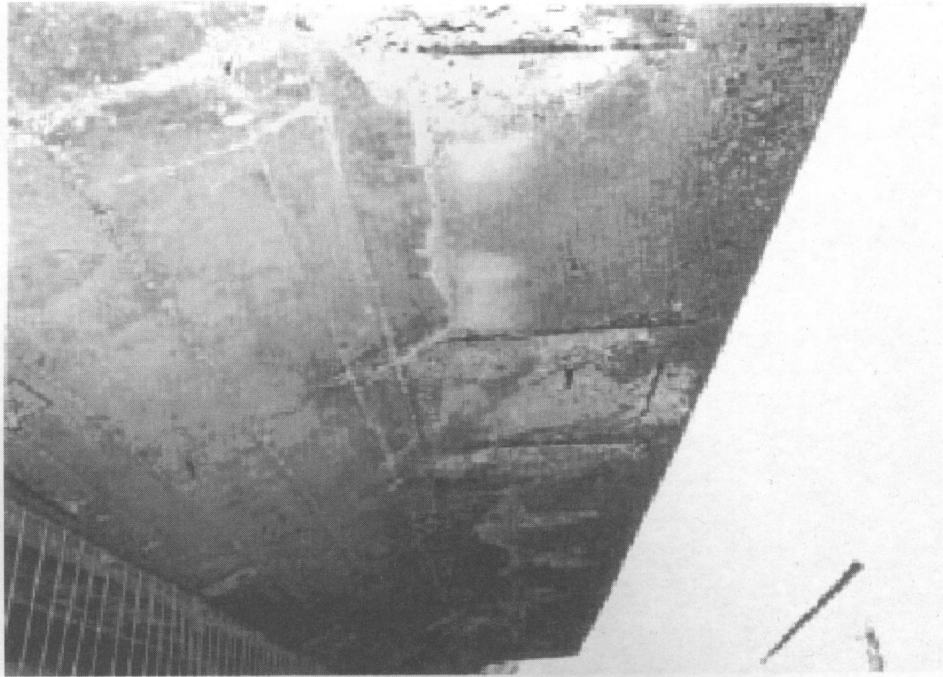


写真 3-11 劣化度Ⅱの事例(かぶり不足・ジャンカ、河川構造物)
 ※鉄筋のかぶりが連続的に不足し、鉄筋の周囲にコンクリートが十分に充填されていなかったと見られる水門。



写真 3-12 劣化度Ⅱの事例(剥落のおそれ、トンネル)
 ※トンネル側壁で、モルタルで補修されたと思われる部位周辺にひび割れが発生し、補修部分が浮いている。剥落のおそれがある。



写真 3-13 劣化度Ⅱの事例(かぶり不足, 橋梁下部構造)
 ※橋脚でかぶり不足のために鉄筋が露出している事例。この部位における鉄筋の露出事例は複数有り, 橋脚において特にかぶりが不足しやすい部位であると考えられる。

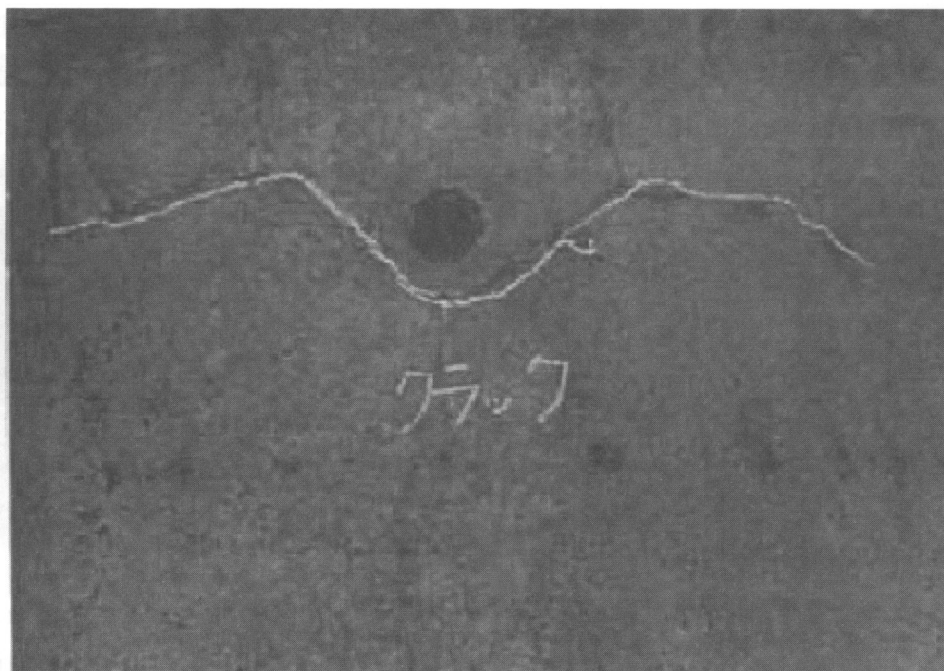


写真 3-14 劣化度Ⅰの事例(ひび割れ, 橋梁下部構造)
 ※型枠用のセパレータ下側のコンクリートが沈下しひび割れが生じている事例。構造物の耐力や耐久性には影響がないと判断された。



写真 3-15 劣化度 I の事例(エフロレッセンス, 擁壁)

※収縮ひび割れ, 沈下ひび割れからのエフロレッセンスの析出がやや目立つが, 構造物の耐久性にはほとんど影響ないと判断された事例。

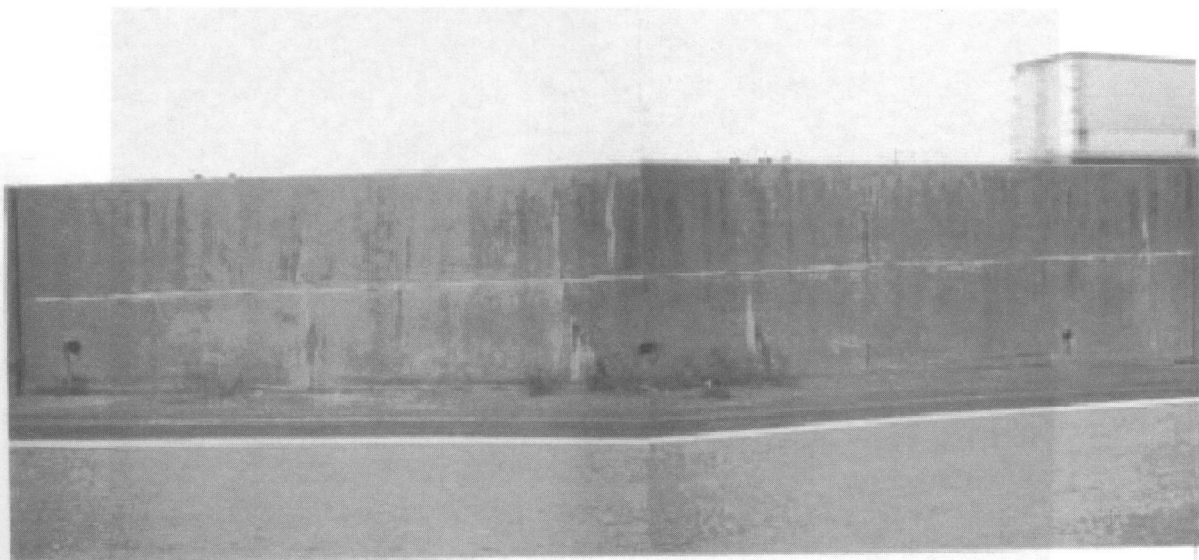


写真 3-16 劣化度 I の事例(ひび割れ, 擁壁)

※温度・乾燥収縮による縦方向のひび割れが等間隔に入った擁壁の事例。構造物としての耐久性には影響がないものと判断された。

3-3. 調査した構造物の概要

この節では、本調査のうち構造物の概要に関する調査（付録図 1-8 調査票－1）の結果を示す。

(1) 構造物の種類と竣工年

- ・調査した事例数を構造物の種類と竣工年代で分類して表 3-6 に示す。

(2) 地理的分布

- ・調査した構造物の地理的分布を表 3-7 に示す。担当した地方建設局等の地域ごとにとりまとめた。

(3) 周辺環境

- ・調査した構造物の周辺環境を表 3-8 に示す。
- ・調査した構造物の気象環境（普通地と雪寒地の別）を表 3-9 に示す。
- ・調査した構造物付近での凍結防止剤の使用日数を図 3-1 に示す。
- ・調査した構造物の海からの距離を図 3-2 に示す。

構造物の周辺環境のうち凍結防止剤の使用日数および海からの距離については、外部からの塩分の供給による塩害の可能性を検討するために調査したものである。しかし、本調査は塩害に的を絞ったものではないので、ここでは簡単な整理にとどめた。なお、塩害に関する調査を行った最新のものとしては、文献 8), 9) などがある。凍結防止剤の使用に関しては、他にも文献 10), 11) などがある。

(4) コンクリートの設計基準強度

- ・調査した構造物の種類と設計基準強度の関係を図 3-3 に示す。
- ・調査した構造物の竣工年代と設計基準強度の関係を図 3-4 に示す。

図 3-3 と図 3-4 を比較すると、設計基準強度は構造物の種類による差異が比較的大きかった。例えば、擁壁や橋梁下部構造は、一部に無筋の構造物も含まれていることから設計基準強度が比較的小さかったものと推測される。一方、竣工年代による設計基準強度の違いは、今回の調査では、ほとんど見られなかった。

設計基準強度が明かでなかった事例も、全体の 45 % と少なくなかった。

(5) 点検状況

調査票では点検状況についても記入を求めたが、分析の過程で“点検”の意味について調査担当者により大きな違いがあることがわかった。すなわち、“点検”については、日常的な見回りと理解されたケースから特に当該構造物を対象とした調査業務の実施と理解されたケースまで、調査票を記入者による幅があった。

このため点検状況に関する調査結果については、あえて分析は行わなかった。

(6) 補修状況

調査票では最新の補修状況についても記入を求めた。記載された内容は、構造物の劣化に伴って必要になった補修・補強から、劣化は生じていないものの構造物の性能を向上させるために行われた補強（特に耐震補強）や鋼部材の塗装などがあった。そこで、構造物の種類ごとに調査票に記載された“補修”内容を整理した。ただし、調査票では、最新の補修についてのみ記載を求めたことから、ここに整理された内容が各構造物に施された補修のすべてではない。

a) 橋梁上部構造

調査した 371 件の橋梁上部構造のうち 100 件の構造物で補修履歴があるとの回答で、補修内容については 106 件の記載があった（一つの構造物で複数種類の補修が行われている場合があった）。記載

された内容を整理して図 3-5 に示す。このうちコンクリート部材の劣化のために行われた補修としては、桁や床版の断面修復、コンクリートの表面被覆（塩分の浸透を防止）、ひび割れへの注入、床版・桁の耐荷力向上（鋼板接着など）があり、これらの合計は 31 件であった。高欄や支承、伸縮装置など橋梁上部構造特有の装置の補修や取換えも多く 37 件あった。

一方、舗装や鋼桁の塗装など補修には該当しないと考えられるものも 8 件あった。また、下部構造の補修・補強について記載されていた場合も少なくなかった。なお、落橋防止装置の設置という記載内容については、下部構造である橋台や橋脚の桁座拡幅を意味している事例も含まれると考えられたが、調査票からは明らかにできなかった。

調査票の記載内容からは、補修内容がわからない場合も 14 件あった。

b) 橋梁下部構造

調査した 390 件の橋梁下部構造のうち、81 件の構造物で 83 件の補修内容の記載があった（図 3-6）。しかし、省座コンクリートの補修やひび割れ注入、表面被覆などコンクリート部材の劣化のために補修が行われた事例は 17 件であった。表面被覆 3 件のうち 2 件は、アルカリ骨材反応により劣化したと見られるものである。一方、桁座の拡幅 23 件、落橋防止装置の設置 4 件や橋脚の耐震補強 13 件など、耐震性能を向上させるための補強の実施が多く、記載内容の半数を占めた。

この他、上部構造の補修・補強等について記載されている場合が 14 件、補修内容の詳細が不明の場合が 13 件あった。

c) 擁壁

調査した 348 件の擁壁のうち、14 件の構造物で 14 件の補修内容の記載があった（図 3-7）。表面被覆やひび割れ注入といったコンクリート部材の劣化に関連した補修は 3 件と少なかった。このうちひび割れ注入の 1 件は、アルカリ骨材反応により劣化した構造物とみられる。また、底版補強、根固め工といった擁壁の安定に関する補強が行われている事例が 2 件あった。

この他、擁壁の嵩上げが行われている事例が 3 件あった。また、補修内容が不明の場合が 1 件、法面の処理など擁壁本体の補修・補強ではない内容が記載されている場合が 5 件あった。

d) カルバート

調査した 370 件のカルバートのうち、28 件の構造物で 30 件の補修内容の記載があった（図 3-8）。カルバートの補修では「表面コンクリート補修」との記載が 10 件と多かった（頂版や側壁等にモルタルを薄く塗布していることを指す）。他に、ひび割れ注入や漏水対策（漏水対策としてひび割れ注入が行われていることも考えられるが調査票からは明らかにできなかった）、目地部、ジャンカの補修、（流水によるすりへり作用を受ける）底版の補修などがあった。

補修内容が明確でない事例も 6 件あった。また、補修ではない事例も 2 件（化粧版の設置、歩道部分の拡幅）あった。

e) 河川構造物

調査した 364 件の河川構造物のうち、97 件の構造物で 98 件の補修内容の記載があった（図 3-9）。ひび割れ注入あるいはグラウトと記載されている事例が 27 件と比較的多かった。表面コンクリート補修などコンクリート部材の補修を指す事例は、他に 8 件あった。一方、水門としての機能（開閉にかかわる機械設備など）に関する補修事例も 12 件と多かった。「改築」とされている事例もほとんどは水門としての機能を改善するためのものと考えられる。

また、河川構造物では補修した場所（例えば、門柱、翼壁、樋管など）についてのみ記載があり、補修の内容については明確でなかった場合が多かった。

f) トンネル

調査した 256 件のトンネルのうち、103 件の構造物で 128 件の補修内容の記載があった（図 3-10）。このうち半分程度の 63 件は漏水対策で、漏水を計画的に流下させるための導水工が実施されている場合と漏水を防止する補修が行われている場合があった。また、覆工と地山の間に裏込め注入を行っている事例も 25 件と多かった。なお、化粧板の設置など補修とは言えない事例も 3 件あった。

補修内容として記載されたものを整理すると、①コンクリート部材の劣化または初期欠陥に対応するために補修・補強が行われている事例、②構造物の機能を維持するためにコンクリート部材以外に対して補修が行われている事例、③竣工後の基準類の変更や構造物の用途の変更に基つき補強が行われている事例（耐震補強や擁壁の嵩上げなど）、④調査票の記載内容だけでは補修内容が十分に明確でない事例、⑤定期的な塗り替えなどで補修とはいえない事例、の 5 種類があった。そこで、①、②、④に該当する記述がある場合を「補修有り」、③に該当する記述がある場合を「改修有り」、それ以外を「補修無し」として整理した。一つの構造物で「補修有り」と「改修有り」の双方に該当する場合は、「補修有り」の構造物として集計した。

調査した構造物の種類と補修実施の有無の関係を図 3-11 に示す。構造物種類ごとの集計ではトンネルが最も補修された構造物の割合が高いが、これは他の構造物と比較して一つの構造物の規模（調査範囲）が大きく、なんらかの不具合が発生する可能性が高いためと考えられる。また、トンネル以外の構造物では、比較的かぶりが小さい橋梁上部構造や河川構造物（門柱部分等）で補修された割合が高かった。橋梁下部構造では、改修を受けた構造物の割合は大きい、補修を受けた構造物の割合はカルバートと同程度であった。

調査した構造物の竣工年と補修実施の有無の関係を図 3-12 に示す。竣工からの経過年数が多くなるほど補修を受けた構造物の割合が大きくなる傾向が見られる。このような傾向が見られる理由としては、①時間の経過とともに徐々に構造物の劣化が進み補修が必要となること（すなわち、最近つくられた構造物でも 50 年後には 4 割近くがなんらかの補修を必要とする）、②竣工年代が古い構造物ほど品質が悪く補修が必要となっていること（すなわち、最近つくられた構造物は品質が改善されており、50 年後には補修を必要とする構造物の割合は減少している）、の二つが考えられるがこの調査結果のみでは明かではない。

表 3-6 調査した構造物の竣工年代

構造物種類	竣工年代				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
橋梁上部構造	101	89	95	86	371
橋梁下部構造	98	99	97	96	390
擁壁	73	91	95	89	348
カルバート	73	96	101	100	370
河川構造物	79	98	92	95	364
トンネル	60	71	63	62	256
計	484	544	543	528	2099

※カルバートには、道路として利用されているもの(自動車も通行可能なもの)が233件、道路として利用されているもの(歩行者のみ通行可能なもの)が29件、河川や用水路として利用されているものが104件、とさまざまな種類のものが含まれていた(調査票からは用途が不明なものも4件あった)。

表 3-7 調査した構造物の地理的分布

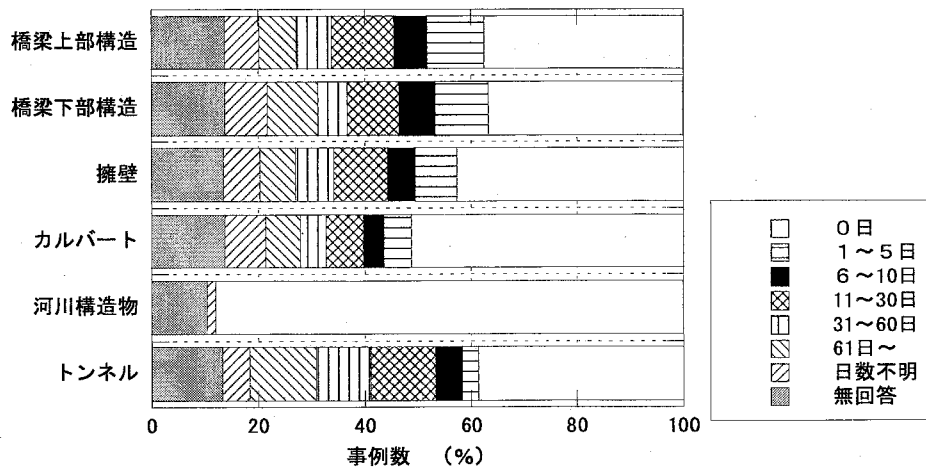
構造物種類	地域										計
	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
橋梁上部構造	40	28	63	24	31	53	37	32	55	8	371
橋梁下部構造	40	38	65	24	38	52	40	31	54	8	390
擁壁	40	25	56	24	36	44	40	31	43	9	348
カルバート	40	35	64	24	34	53	39	27	48	6	370
河川構造物	40	41	60	27	32	47	37	28	52	0	364
トンネル	37	35	25	16	22	27	30	27	32	5	256
計	237	202	333	139	193	276	223	176	284	36	2099

表 3-8 調査した構造物の周辺環境

構造物種類	構造物の周辺環境					計
	工場	住宅・商業地	農地	山地	その他	
橋梁上部構造	13	167	132	46	13	371
橋梁下部構造	14	163	130	71	12	390
擁壁	9	136	88	102	13	348
カルバート	8	146	146	62	8	370
河川構造物	12	138	204	6	4	364
トンネル	1	29	16	203	7	256
計	57	779	716	490	57	2099

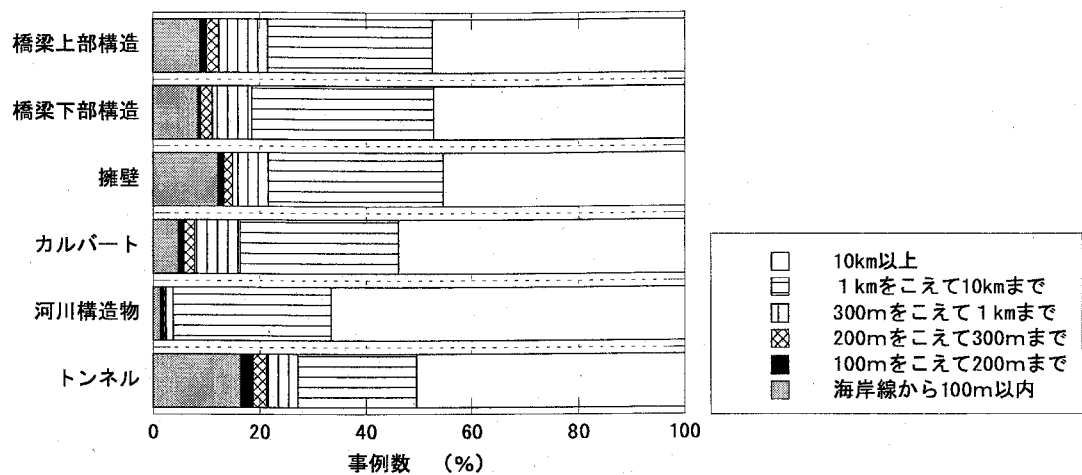
表 3-9 調査した構造物の気象環境

構造物種類	竣工年代		計
	普通地	雪寒地	
橋梁上部構造	248	123	371
橋梁下部構造	253	137	390
擁壁	233	115	348
カルバート	233	137	370
河川構造物	256	108	364
トンネル	133	123	256
計	1356	743	2099



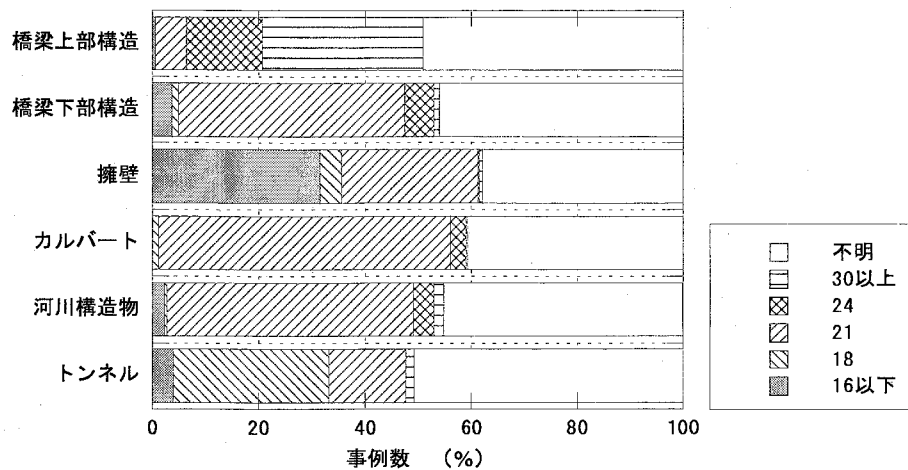
構造物種類	凍結防止剤の年間使用日数								計
	0日	1~5日	6~10日	11~30日	31~60日	61日以上	日数不明	無回答	
橋梁上部構造	139	40	23	43	25	26	24	51	371
橋梁下部構造	143	39	26	38	22	37	31	54	390
擁壁	149	27	18	35	25	23	24	47	348
カルバート	190	19	14	26	18	24	28	51	370
河川構造物	320	0	0	0	0	0	6	38	364
トンネル	99	8	13	31	26	32	13	34	256
計	1040	133	94	173	116	142	126	275	2099

図 3-1 凍結防止剤の年間使用日数



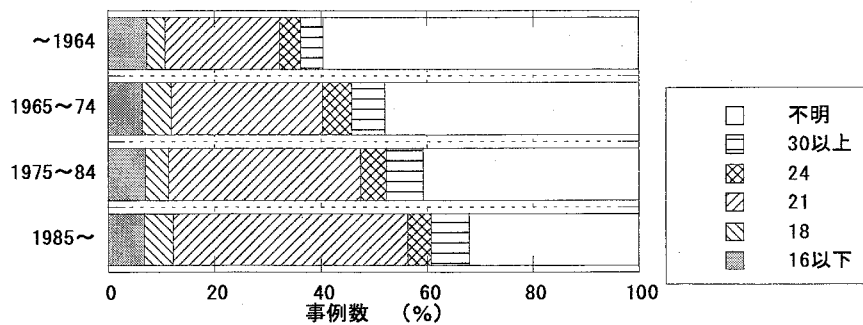
構造物種類	海からの距離						計
	海岸線から 100m以内	100mをこえて 200mまで	200mをこえて 300mまで	300mをこえて 1 kmまで	1 kmをこえて 10kmまで	10kmを こえる	
橋梁上部構造	33	4	9	34	115	176	371
橋梁下部構造	33	2	8	29	134	184	390
擁壁	42	4	6	24	114	158	348
カルバート	17	4	8	31	111	199	370
河川構造物	5	2	1	6	108	242	364
トンネル	42	6	7	15	57	129	256
計	172	22	39	139	639	1088	2099

図 3-2 調査した構造物の海からの距離



構造物種類	設計基準強度							計
	16以下	18	21	24	30	40	50以上	
橋梁上部構造	2	0	22	53	25	58	29	371
橋梁下部構造	14	5	166	21	4	0	0	390
擁壁	110	14	89	1	2	0	0	348
カルバート	0	4	203	11	1	0	0	370
河川構造物	8	2	169	14	5	2	0	364
トンネル	10	75	37	0	4	0	0	256
計	144	100	686	100	41	60	29	2099

図 3-3 構造物種類と設計基準強度の関係



竣工年	設計基準強度							計
	16以下	18	21	24	30	40	50以上	
~1964	35	17	104	20	11	6	3	484
1965~74	35	30	154	30	13	15	6	544
1975~84	38	24	196	26	10	17	11	543
1985~	36	29	232	24	7	22	9	528
計	144	100	686	100	41	60	29	2099

図 3-4 竣工年代と設計基準強度の関係

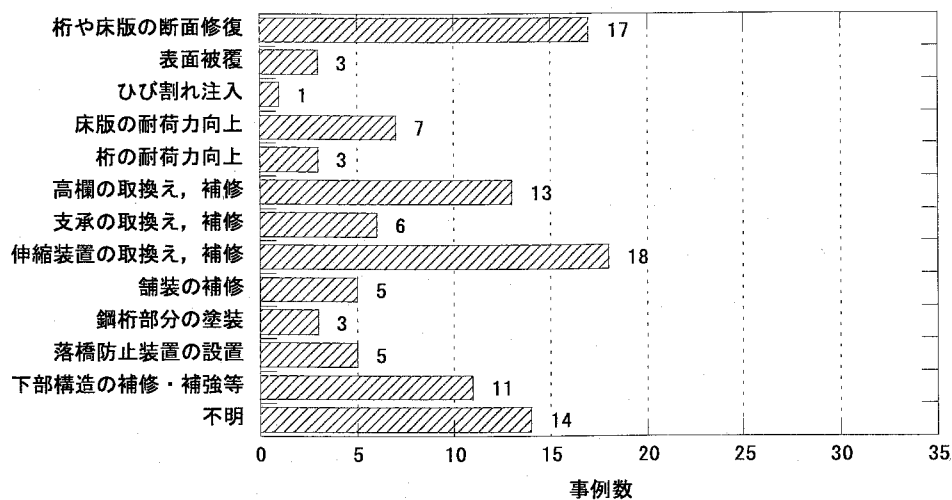


図 3-5 橋梁上部構造の補修内容(調査票記載内容)

※「表面被覆」3件は、いずれも塩害で劣化したと見られる構造物で行われた。

※「ひび割れ注入」は、繰返し荷重を受けた床版に対して行われていた。

※「床版の耐荷力向上」7件中5件は、鋼板接着を行っていた。

※「桁の耐荷力向上」3件のうち2件は増桁を行っていた。他の1件では、鋼板接着を行っていた。

※なお、「下部構造の補修・補強等」では、桁座の拡幅が11件中7件と多かった。

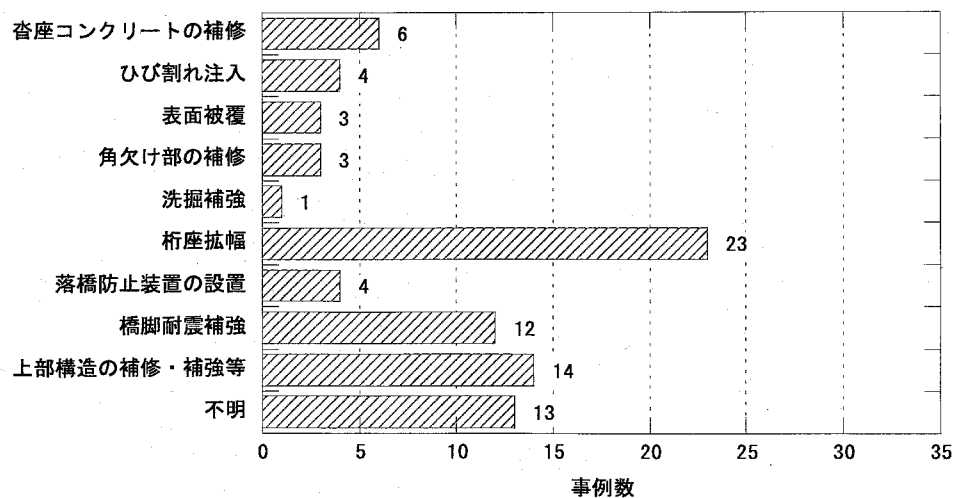


図 3-6 橋梁下部構造の補修内容(調査票記載内容)

※「表面被覆」3件のうち2件はアルカリ骨材反応により劣化したと見られる構造物で、1件は塩害により劣化したと見られる構造物で行われた。

※「橋脚耐震補強」12件のうち8件は鋼板巻立てによる補強で、1件はコンクリート巻立てによる補強であった。他の3件については、詳細は不明であった。

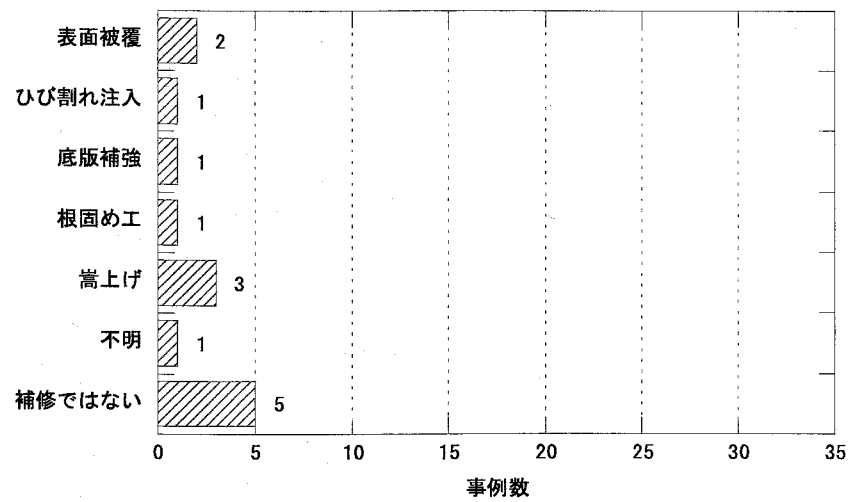


図 3-7 擁壁の補修内容(調査票記載内容)

※「ひび割れ注入」は、アルカリ骨材反応により劣化したと見られる構造物で行われた。

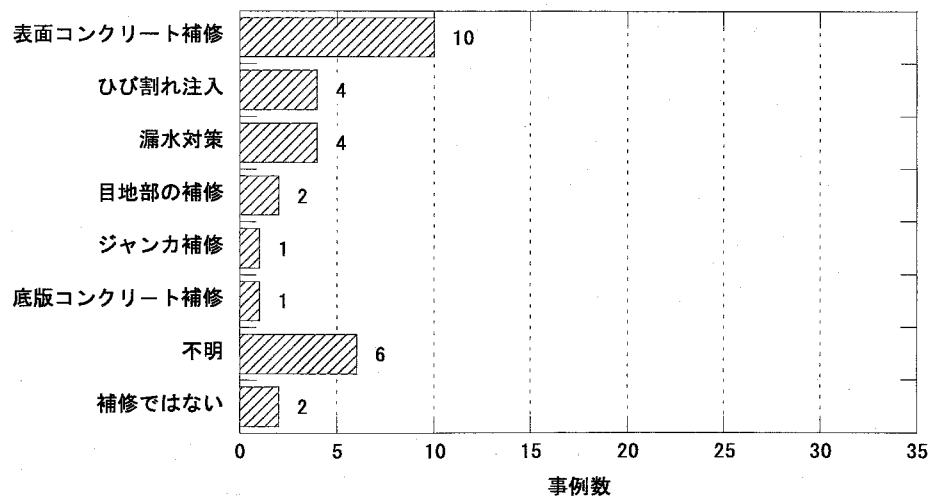


図 3-8 カルバートの補修内容(調査票記載内容)

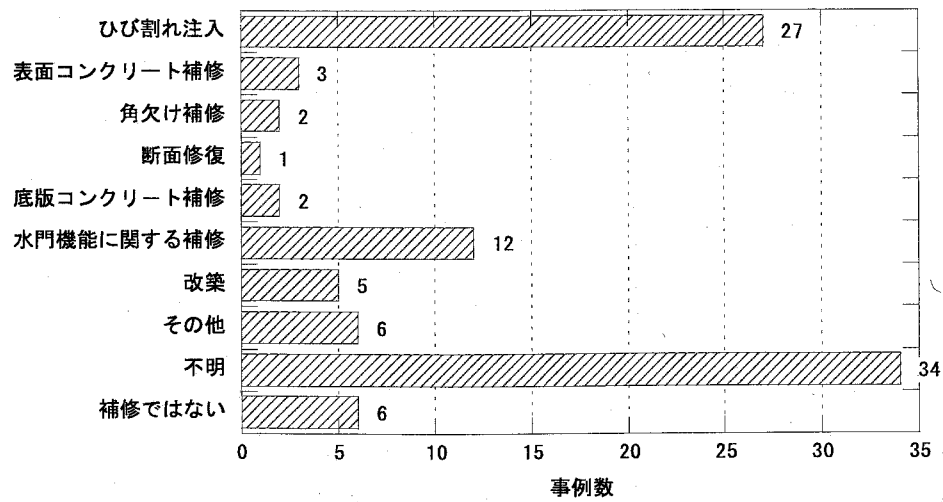


図 3-9 河川構造物の補修内容(調査票記載内容)

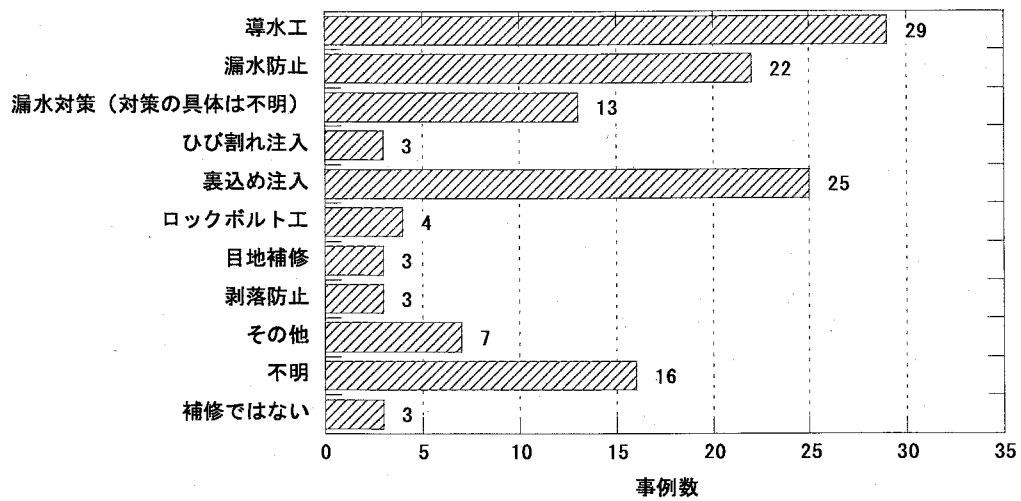


図 3-10 トンネルの補修内容(調査票記載内容)

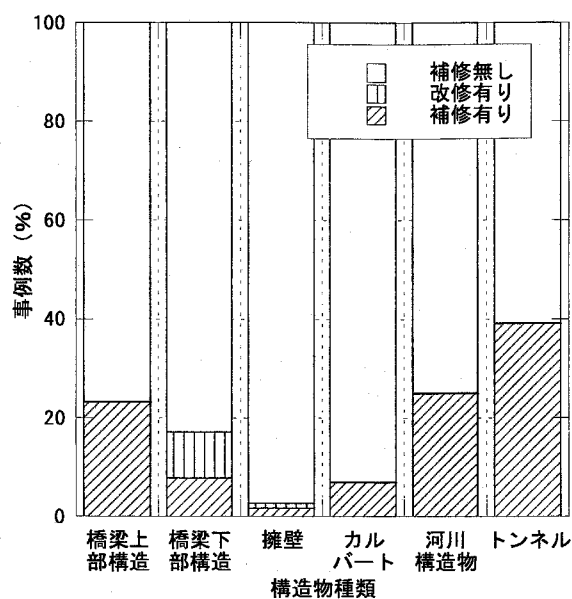


図 3-11 構造物の種類と補修実施の有無

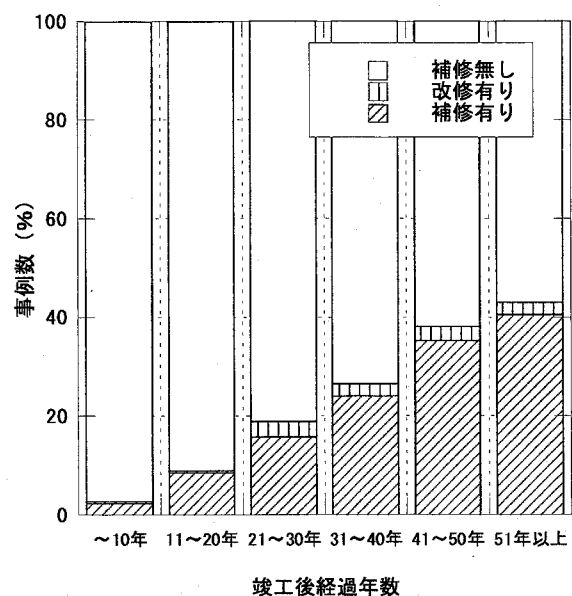


図 3-12 構造物の竣工年と補修実施の有無

3-4. 目視調査結果

3-4-1 各種変状の発生状況

この節では、調査票－2に記入された構造物の変状を簡潔に整理した。先に3-2-2で述べたような問題点から、調査票に記入された各種変状の発生状況を整理しても、必ずしも構造物の状態を把握することにはつながらないものと考えられるが、参考までに結果を示した。

これらの結果や貼付された写真・図面等をもとに総合的に劣化度を判定した結果については、次節で説明する。

(1)豆板，変色

- ・豆板，変色の発生状況を図3-13に示す。

(2)ひび割れ

- ・ひび割れの発生状況を図3-14に示す。

(3)はく離

- ・コンクリートのはく離の発生状況を図3-15に示す。

(4)さび汁

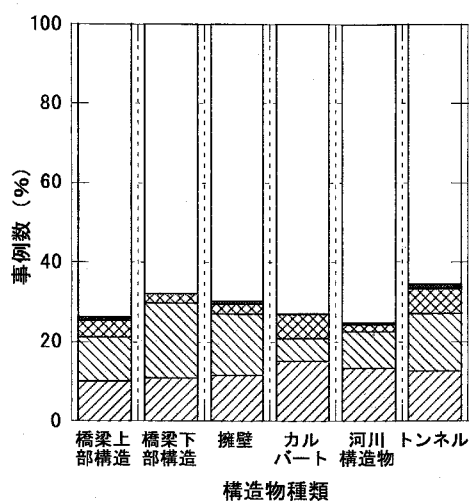
- ・さび汁の有無を図3-16に示す。

(5)鋼材露出

・鋼材の露出状況を図3-17に示す。なお，露出した鋼材の種類としては，調査票にない配力筋，組立筋等の回答が目立った。

(6)ハンマーによるたたき調査

- ・たたき調査の結果を図3-18に示す。

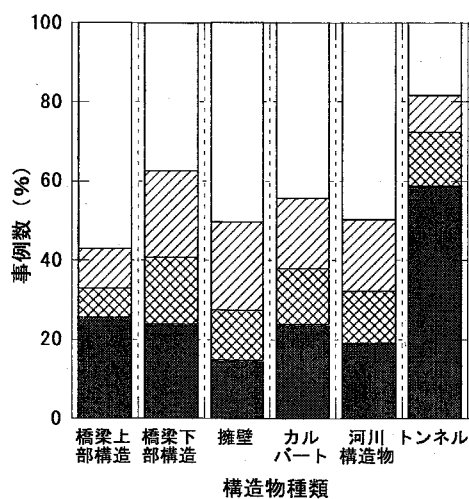


※その他とは、豆板あるいは変色、またはその両者が認められているが、変状の種類について明記のなかった事例である。

□	変状なし
■	その他
▨	豆板・変色有り
▧	変色有り
▩	豆板有り

	豆板有り	変色有り	豆板・変色有り	その他	変状なし	計
橋梁上部構造	37	41	16	3	274	371
橋梁下部構造	42	74	9	0	265	390
擁壁	40	54	9	2	243	348
カルバート	56	21	23	0	270	370
河川構造物	48	34	6	2	274	364
トンネル	32	37	16	3	168	256

図 3-13 豆板，変色の発生状況

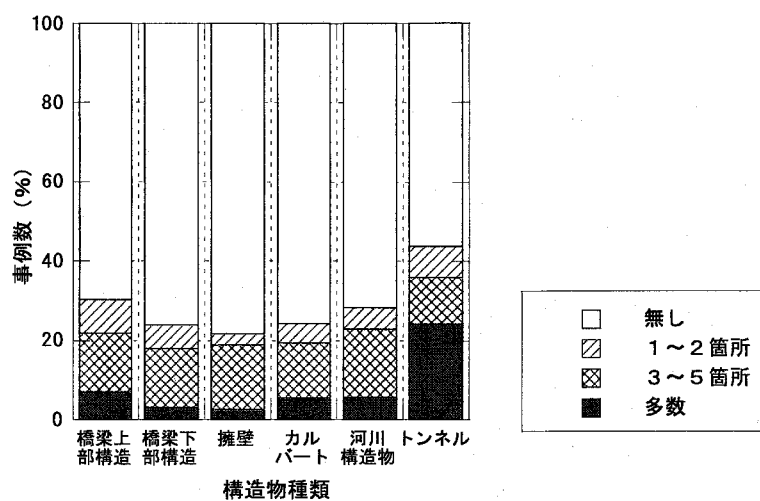


※トンネルはその延長が長いために、1 構造物あたりで発見されるひび割れ本数が多かったものと思われる。

□	ひび割れ無し
▧	1～2本
▨	3～5本
■	多数

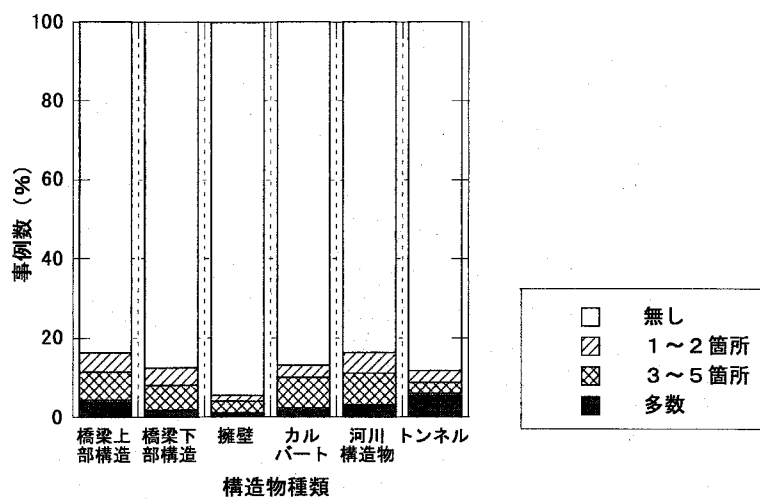
	1～2本	3～5本	多数	無し	計
橋梁上部構造	37	27	95	212	371
橋梁下部構造	85	66	93	146	390
擁壁	78	44	51	175	348
カルバート	65	52	88	165	370
河川構造物	65	48	69	182	364
トンネル	24	35	150	47	256

図 3-14 ひび割れの発生状況



	1～2箇所	3～5箇所	多数	無し	計
橋梁上部構造	55	31	26	259	371
橋梁下部構造	58	23	12	297	390
擁壁	56	10	9	273	348
カルバート	51	18	20	281	370
河川構造物	63	20	20	261	364
トンネル	30	20	62	144	256

図 3-15 はく離の発生状況



	1～2箇所	3～5箇所	多数	無し	計
橋梁上部構造	26	18	16	311	371
橋梁下部構造	24	17	7	342	390
擁壁	10	5	4	329	348
カルバート	29	11	8	322	370
河川構造物	29	19	11	305	364
トンネル	7	8	15	226	256

図 3-16 錆汁の有無

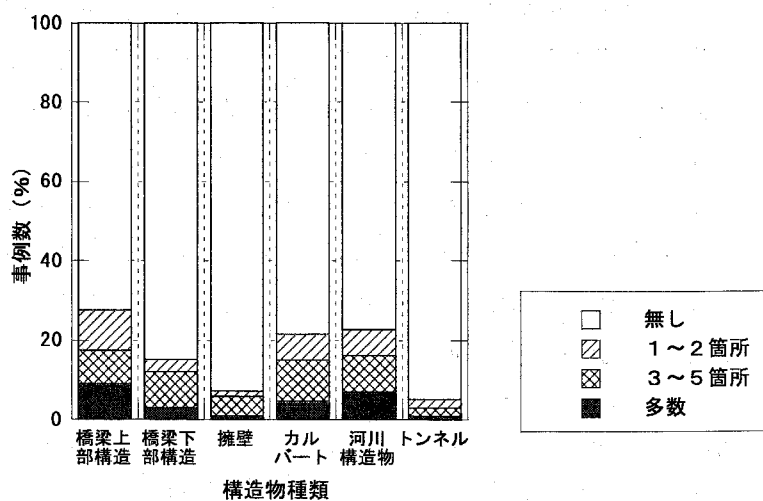
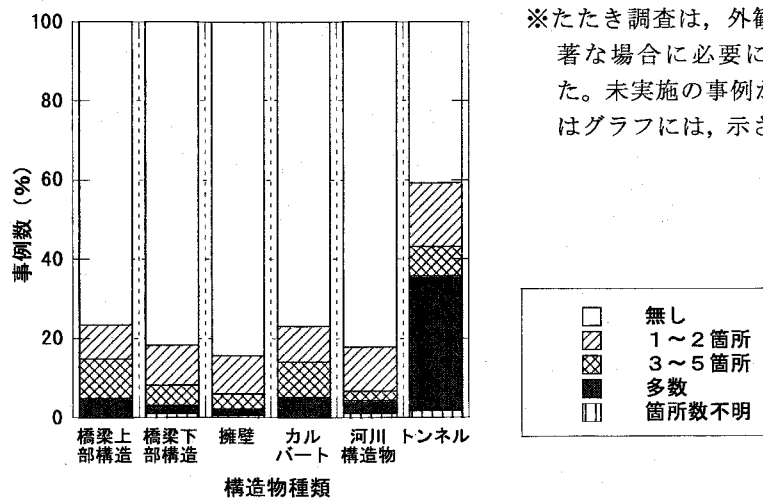


図 3-17 鋼材の露出状況



※たたき調査は、外観の変状が顕著な場合に必要に応じて行った。未実施の事例が占める割合はグラフには、示さなかった。

	異常音有り				異常音なし	未実施	計
	1~2箇所	3~5箇所	多数	箇所数不明			
橋梁上部構造	11	13	6	0	99	242	371
橋梁下部構造	20	10	4	2	161	193	390
擁壁	19	8	3	1	167	150	348
カルバート	18	18	10	0	153	171	370
河川構造物	23	5	7	2	172	155	364
トンネル	28	13	59	3	71	82	256

図 3-18 たたき調査結果

3-4-2 劣化度の判定結果

(1)劣化度の判定結果

劣化度の判定結果を、図 3-19 ～図 3-25 および表 3-9, 表 3-10 に示す。構造物の竣工年代と劣化した構造物の割合には明確な関係が認められ、古い構造物ほど劣化が進んでいることがわかった。すなわち、ある特定の年代の構造物で劣化の進行が著しいといった傾向は見られなかった。この結果は、本調査を行うきっかけのひとつとなった「1970 年前後に建設されたコンクリート構造物では施工が悪く、耐久性が確保できていない」という指摘¹²⁾とは整合しない。この原因に関してはいくつかの理由が考えられる。まず、この指摘が正しいという前提に立てば、例えば、① 1970 年前後に問題となった建設現場はいくつか指摘されているが、管轄の関係でそれらが今回の直接の調査対象とはなっていないこと、②今回の調査では 2000 以上の構造物を調査したとはいえ、時代的、地域的に見ると、調査構造物の密度はそれほど大きくなく、問題となる事例を抽出できなかったこと、等が考えられる。逆に、もともとこの指摘が正しくないという前提に立てば、③いくつかの大規模工事に建設技術者等が集中したため施工管理等が手薄になった、あるいは、全国的に良質の建設資材が不足したと言われているが、平均的にはそうでもなかったかもしれないこと、あるいは、④全体的に技術力の低下や材料品質の低下が進行していて、特定地域・年代の問題が埋没したこと、等も考えられる。いずれの原因も可能性はあるが、他の管轄機関の劣化事例報告等を見る限りでは、①と②の要因が大きかったのではないかと考える。一方、時間の経過とともに全ての構造物が劣化するわけではなく、竣工後 35 年以上が経過した（1964 年以前の）構造物でも、その半数以上（54.8 %）は、劣化の兆候が認められなかった。

補修等を視野に入れて点検や監視などを行うことが必要になると考えられる劣化度Ⅲ以上の構造物は、全体の 5.9 %あった。このうち劣化度Ⅴと判定された事例は 5 例であったが、このうち 1 例は補修中で、4 例は補修計画中であった。

トンネルは、判定基準が異なっているため、他の構造物と比較すると劣化度が高めになっていた。トンネル以外の構造物では、鉄筋のかぶりが比較的小さい橋梁上部構造で劣化度の高い事例が目立った。逆に、無筋コンクリート構造物も多数含まれる擁壁では、全体的に劣化度が低かった。

(2)劣化要因の推定結果

劣化が認められた構造物について、その劣化要因を推定した結果を、図 3-26 ～図 3-32 および表 3-11, 表 3-12 に示す。

調査票に貼付された写真・図面など限られた情報から推定を行ったため、どうしても原因を特定することが難しい事例も少なくなかった。このような事例は「不明」とした。

劣化要因として挙げられたものは、年代にかかわらず「コンクリート低品質」が多く、それに「配筋不良」が続いている（トンネルの場合は、劣化要因のほとんどが「コンクリート低品質」である）。「コンクリート低品質」と判断された事例には、豆板やコールドジョイントのように施工に起因することが明らかなものと、エフロレッセンスやコンクリート表面の変状など原因が必ずしも明確でないものがあつたが、前者が比較的目立った。すなわち劣化要因としては施工に起因するものが大部分を占めており、コンクリートの打込みや養生、かぶりの確保等を確実にやっていくことが重要であると言える。なお、「コンクリート低品質」に関しては 3-2-2 でも示したように、劣化の結果の変状も便宜的に要因として位置づけており、より詳細な調査を行えば、他の劣化要因にふり分けられる可能性があるものもある。

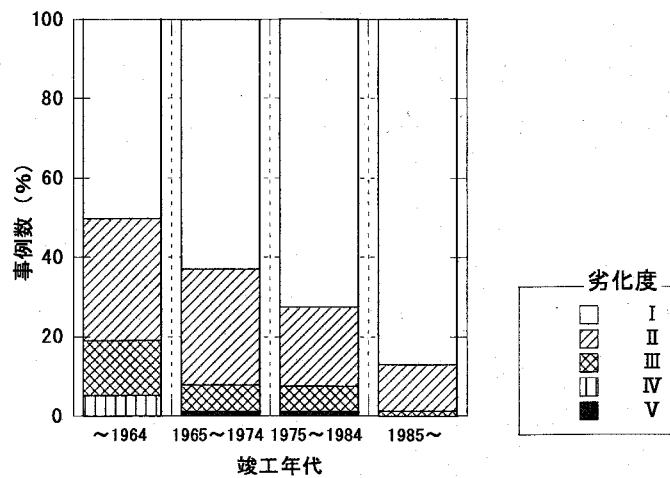
一方、アルカリ骨材反応や塩害、凍害などコンクリートの材料そのものや周辺環境に起因する劣化事例は、全国的なコンクリート構造物の数量からすると、必ずしも多くはなかった。しかし、劣化度が高い事例では、これらが劣化要因として挙げられる割合が高い。特に劣化度Ⅴの構造物のうちトンネルを除く3例（橋梁上部構造の2例、橋梁下部構造の1例）では、いずれも塩害が劣化要因の一つとして挙げられていた。今後も、塩害の劣化の予防を確実にするとともに、補修・補強技術を向上させていく必要がある。

(3)アルカリ骨材反応による劣化について

アルカリ骨材反応による劣化については7名により分担した判定では22件があった。今回、第4章と第5章での膨大な数の劣化事例調査を通じて筆者自身のアルカリ骨材反応に対する見方も若干変化していると考え、改めてこの22件の資料を見直した。この結果を表3-13に示す。表3-11、表3-12、表3-13から判明したこととして次のようなことが言える。

- ・ この調査では橋梁上部工とカルバートには劣化例はなかった。
- ・ 橋梁下部工の劣化例は8件である。これは対象とした構造物の2%に相当する。いずれもアルカリ骨材反応の典型的なひび割れが見られた。しかし劣化度Ⅴに相当するものはなく、劣化度Ⅲ～Ⅳが1件、残りが劣化度Ⅱ～Ⅲであった。
- ・ 擁壁の劣化は4件あった。これは対象とした構造物の1%に相当する。いずれもアルカリ骨材反応の典型的なひび割れが見られ、しかもひび割れ幅が比較的大きかった。
- ・ 河川構造物では7件あったが、明らかにアルカリ骨材反応のものは4件であった。これは対象とした構造物の1%に相当する。劣化度としてはⅡ～Ⅳである。残りの3件は判定が難しく、アルカリ骨材反応ではない可能性もあり、劣化度としてはⅡ程度である。
- ・ トンネルは3件あった。このうち1件は外部に露出した坑門のコンクリートに軽度のアルカリ骨材反応が見られた。坑内には症状はなかった。残りの2件は判定が難しく、アルカリ骨材反応ではない可能性もあり、劣化程度は軽い。
- ・ 図3-3に示すように橋梁下部工とカルバートは、ほぼ同じ設計基準強度の分布をしている。それにもかかわらず両者の劣化構造物の比率は大きく異なる。つまり、アルカリ骨材反応の発生率は、設計基準強度などの配合の要因よりは、むしろ水の供給や日射の影響などの方が大きいのではないかと考えられる。

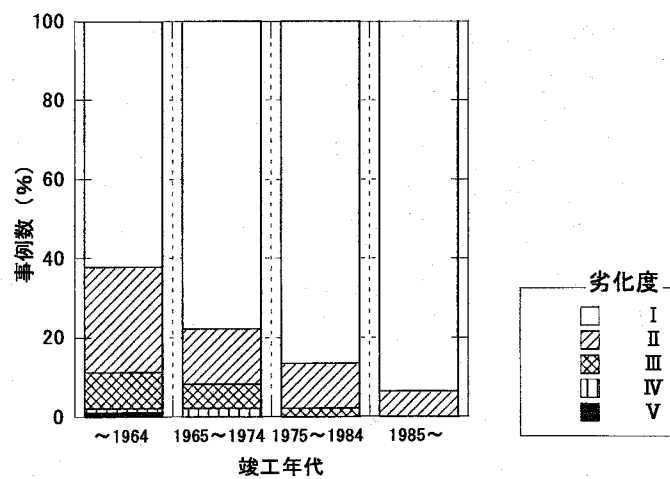
なお、1986年のアルカリ骨材反応抑制対策実施以降の構造物でアルカリ骨材反応による劣化が疑われる構造物は、今回の調査では認められなかった。



橋梁上部構造

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	0	5	14	31	51	101
1965~1974	1	0	6	26	56	89
1975~1984	1	0	6	19	69	95
1985~	0	0	1	10	75	86
計	2	5	27	86	251	371

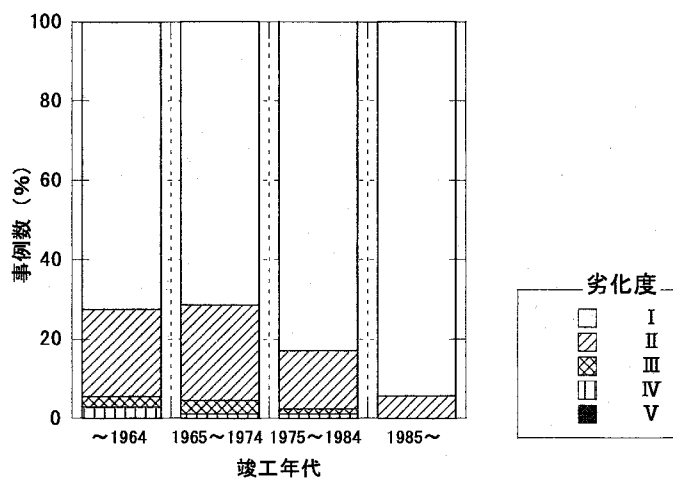
図 3-19 劣化度判定結果(橋梁上部構造)



橋梁下部構造

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	1	1	9	26	61	98
1965~1974	0	2	6	14	77	99
1975~1984	0	0	2	11	84	97
1985~	0	0	0	6	90	96
計	1	3	17	57	312	390

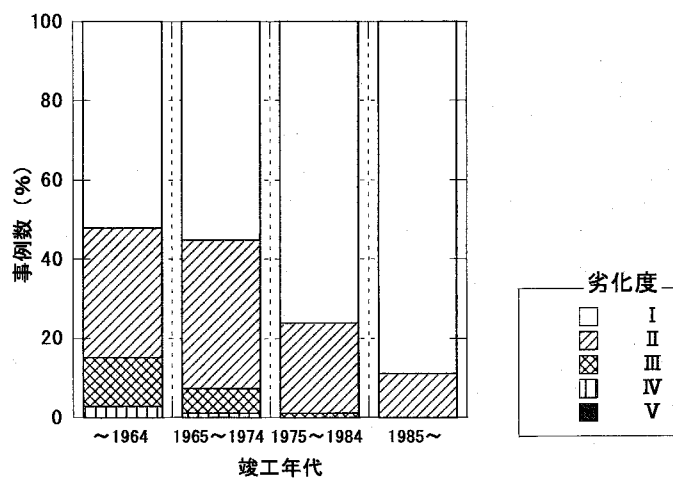
図 3-20 劣化度判定結果(橋梁下部構造)



擁壁

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	0	2	2	16	53	73
1965~1974	0	1	3	22	65	91
1975~1984	0	1	1	14	79	95
1985~	0	0	0	5	84	89
計	0	4	6	57	281	348

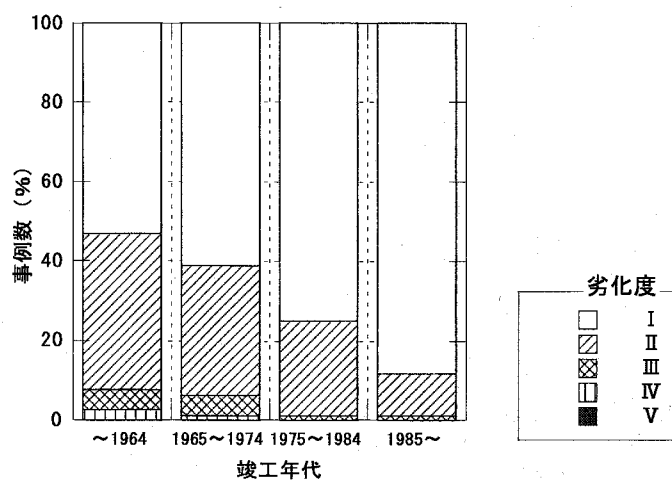
図 3-21 劣化度判定結果(擁壁)



カルバート

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	0	2	9	24	38	73
1965~1974	0	1	6	36	53	96
1975~1984	0	0	1	23	77	101
1985~	0	0	0	11	89	100
計	0	3	16	94	257	370

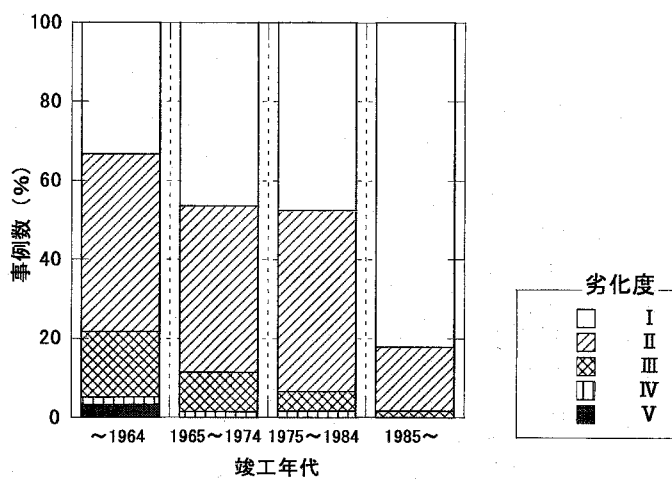
図 3-22 劣化度判定結果(カルバート)



河川構造物

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	0	2	4	31	42	79
1965~1974	0	1	5	32	60	98
1975~1984	0	0	1	22	69	92
1985~	0	0	1	10	84	95
計	0	3	11	95	255	364

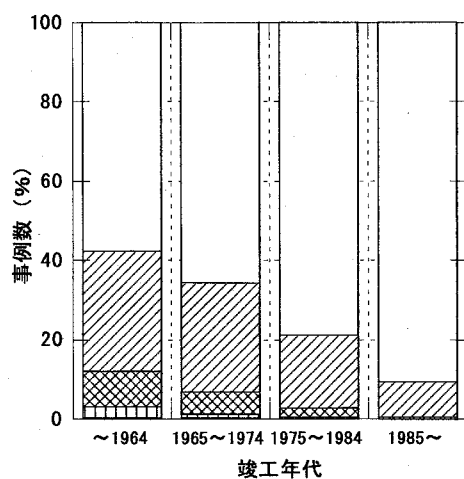
図 3-23 劣化度判定結果(河川構造物)



トンネル

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	2	1	10	27	20	60
1965~1974	0	1	7	30	33	71
1975~1984	0	1	3	29	30	63
1985~	0	0	1	10	51	62
計	2	3	21	96	134	256

図 3-24 劣化度判定結果(トンネル)



※同一の判定基準に基づく橋梁上部構造, 橋梁下部構造, 擁壁, カルバート, 河川構造物の判定結果を集計した。

トンネル以外の構造物

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	1	12	38	128	245	424
1965~1974	1	5	26	130	311	473
1975~1984	1	1	11	89	378	480
1985~	0	0	2	42	422	466
計	3	18	77	389	1356	1843

図 3-25 劣化度判定結果 (トンネル以外の構造物)

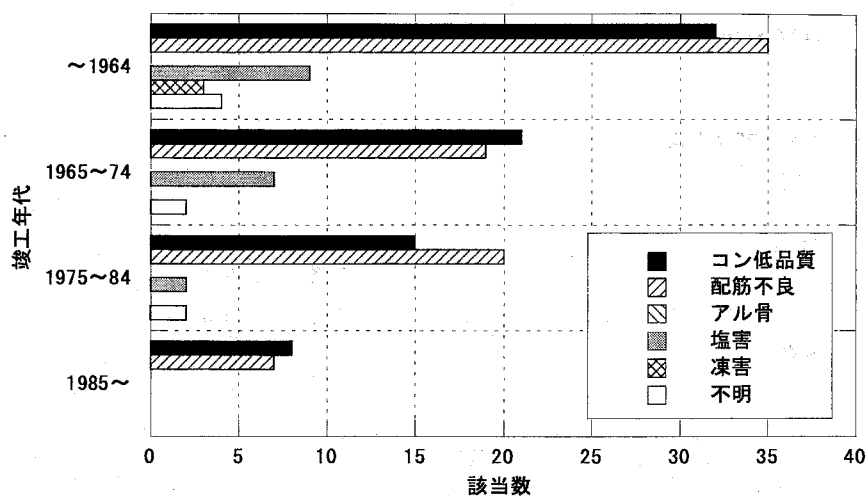
表 3-9 劣化度判定結果 (竣工年代ごとに整理)

竣工年代	構造物種類	劣化度					計
		V	IV	III	II	I	
~1964	トンネル以外	1	12	38	128	245	424
	トンネル	2	1	10	27	20	60
1965~1974	トンネル以外	1	5	26	130	311	473
	トンネル	0	1	7	30	33	71
1975~1984	トンネル以外	1	1	11	89	378	480
	トンネル	0	1	3	29	30	63
1985~	トンネル以外	0	0	2	42	422	466
	トンネル	0	0	1	10	51	62
総計		5	21	98	485	1490	2099

※トンネルと他の構造物 (橋梁上部構造, 橋梁下部構造, 擁壁, カルバート, 河川構造物) では判定基準が異なるので, 別途集計した。

表 3-10 劣化度判定結果(構造物ごとに整理)

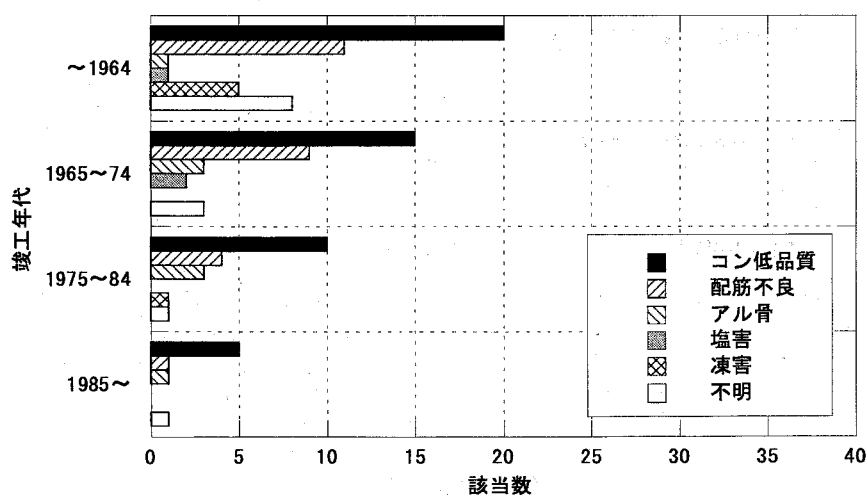
構造物種類	年代	劣化度					計
		V	IV	III	II	I	
橋梁 上部構造	～1964	0	5	14	31	51	101
	1965～1974	1	0	6	26	56	89
	1975～1984	1	0	6	19	69	95
	1985～	0	0	1	10	75	86
小計		2	5	27	86	251	371
橋梁 下部構造	～1964	1	1	9	26	61	98
	1965～1974	0	2	6	14	77	99
	1975～1984	0	0	2	11	84	97
	1985～	0	0	0	6	90	96
小計		1	3	17	57	312	390
擁壁	～1964	0	2	2	16	53	73
	1965～1974	0	1	3	22	65	91
	1975～1984	0	1	1	14	79	95
	1985～	0	0	0	5	84	89
小計		0	4	6	57	281	348
カルバート	～1964	0	2	9	24	38	73
	1965～1974	0	1	6	36	53	96
	1975～1984	0	0	1	23	77	101
	1985～	0	0	0	11	89	100
小計		0	3	16	94	257	370
河川構造物	～1964	0	2	4	31	42	79
	1965～1974	0	1	5	32	60	98
	1975～1984	0	0	1	22	69	92
	1985～	0	0	1	10	84	95
小計		0	3	11	95	255	364
トンネル	～1964	2	1	10	27	20	60
	1965～1974	0	1	7	30	33	71
	1975～1984	0	1	3	29	30	63
	1985～	0	0	1	10	51	62
小計		2	3	21	96	134	256
トンネル以外の構造物		3	18	77	389	1356	1843
総計		5	21	98	485	1490	2099



橋梁上部構造

年代	コン低品質	配筋不良	アル骨	塩害	凍害	不明
～1964	32	35	0	9	3	4
1965～1974	21	19	0	7	0	2
1975～1984	15	20	0	2		2
1985～	8	7	0	0	0	0
計	76	81	0	18	3	8

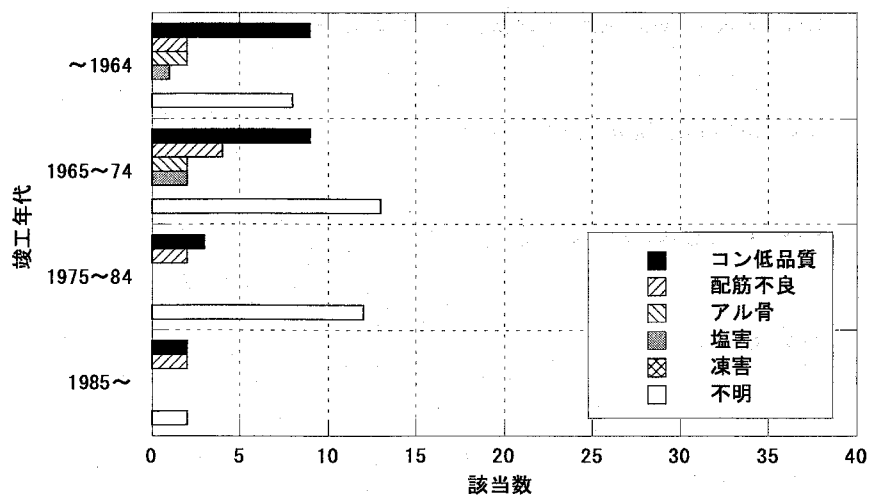
図 3-26 劣化要因の推定結果(橋梁上部構造)



橋梁下部構造

年代	コン低品質	配筋不良	アル骨	塩害	凍害	不明
～1964	20	11	1	1	5	8
1965～1974	15	9	3	2	0	3
1975～1984	10	4	3	0	1	1
1985～	5	1	1	0	0	1
計	50	25	8	3	6	13

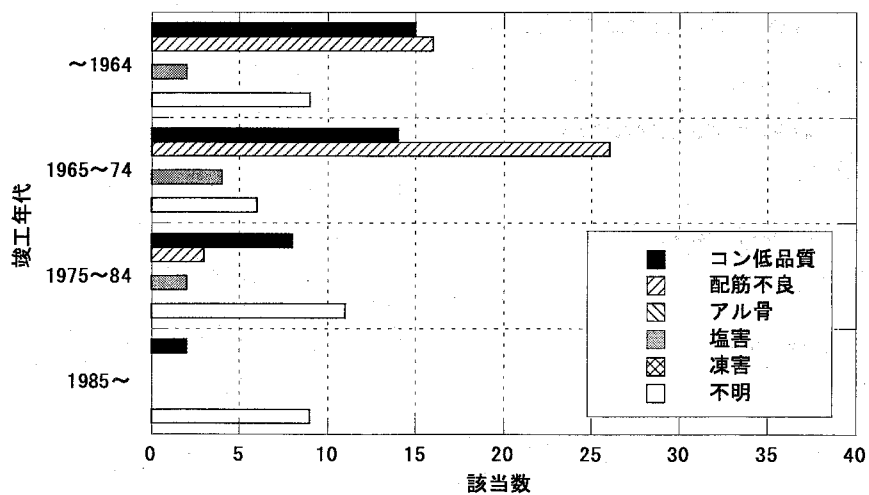
図 3-27 劣化要因の推定結果(橋梁下部構造)



擁壁

年代	コン低品質	配筋不良	アル骨	塩害	凍害	不明
~1964	9	2	2	1	0	8
1965~1974	9	4	2	2	0	13
1975~1984	3	2	0	0	0	12
1985~	2	2	0	0	0	2
計	23	10	4	3	0	35

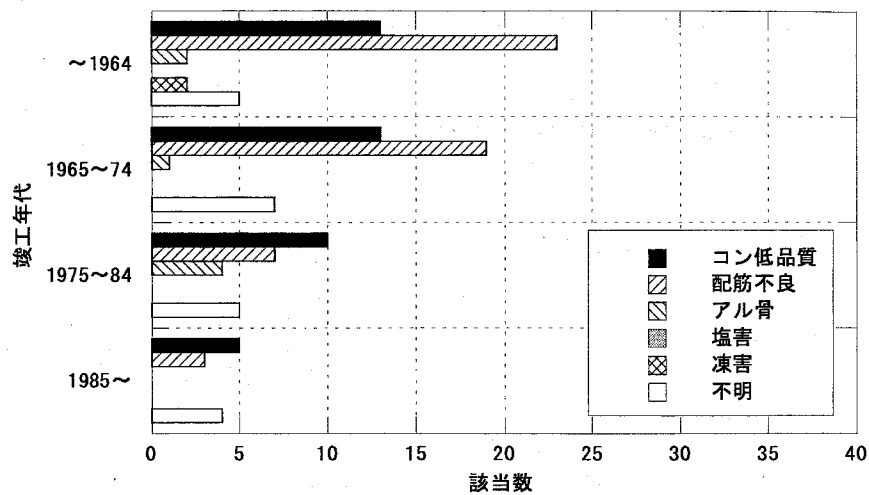
図 3-28 劣化要因の推定結果(擁壁)



カルバート

年代	コン低品質	配筋不良	アル骨	塩害	凍害	不明
~1964	15	16	0	2	0	9
1965~1974	14	26	0	4	0	6
1975~1984	8	3	0	2	0	11
1985~	2	0	0	0	0	9
計	39	45	0	8	0	35

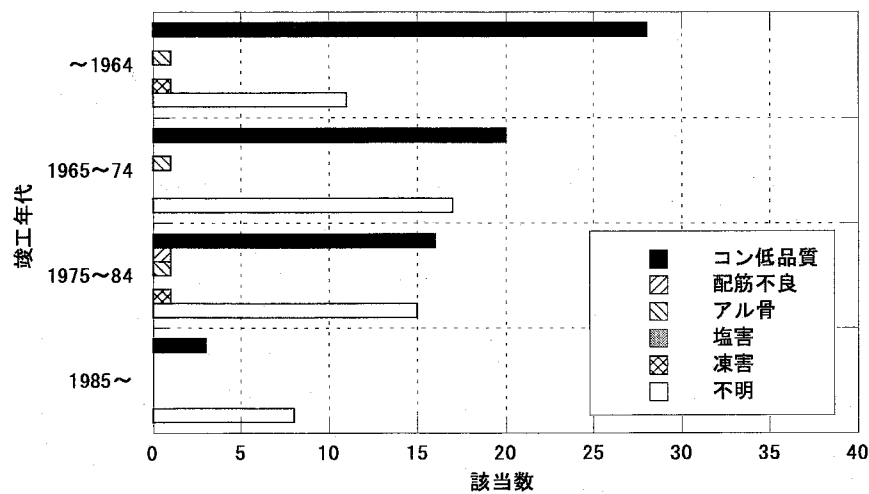
図 3-29 劣化要因の推定結果(カルバート)



河川構造物

年代	コン低品質	配筋不良	アル骨	塩害	凍害	不明
～1964	13	23	2	0	2	5
1965～1974	13	19	1	0	0	7
1975～1984	10	7	4	0	0	5
1985～	5	3	0	0	0	4
計	41	52	7	0	2	21

図 3-30 劣化要因の推定結果(河川構造物)



トンネル

年代	コン低品質	配筋不良	アル骨	塩害	凍害	不明
～1964	28	0	1	0	1	11
1965～1974	20	0	1	0	0	17
1975～1984	16	1	1	0	1	15
1985～	3	0	0	0	0	8
計	67	1	3	0	2	51

図 3-31 劣化要因の推定結果(河川構造物)

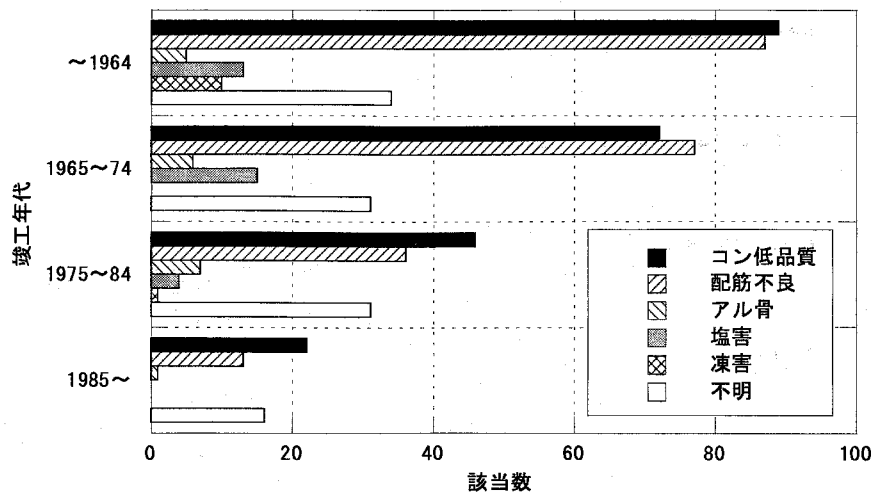


図 3-32 劣化要因の推定結果(トンネル以外の構造物)

表 3-11 劣化要因の推定結果(竣工年代ごとに整理)

竣工年代	構造物種類	劣化要因 (複数選択)						計
		コン低品質	配筋不良	アル骨	塩害	凍害	不明	
~1964	トンネル以外	89	87	5	13	10	34	238
~1964	トンネル	28	0	1	0	1	11	41
1965~1974	トンネル以外	72	77	6	15	0	31	201
1965~1974	トンネル	20	0	1	0	0	17	38
1975~1984	トンネル以外	46	36	7	4	1	31	125
1975~1984	トンネル	16	1	1	0	1	15	34
1985~	トンネル以外	22	13	1	0	0	16	52
1985~	トンネル	3	0	0	0	0	8	11
総計		296	214	22	32	13	163	740

表 3-12 劣化要因の推定結果(構造物ごとに整理)

構造物種類	竣工年代	劣化要因 (複数選択)						計
		コン 低品質	配筋 不良	アル骨	塩害	凍害	不明	
橋梁 上部構造	～1964	32	35	0	9	3	4	83
	1965～1974	21	19	0	7	0	2	49
	1975～1984	15	20	0	2	0	2	39
	1985～	8	7	0	0	0	0	15
小計		76	81	0	18	3	8	186
橋梁 下部構造	～1964	20	11	1	1	5	8	46
	1965～1974	15	9	3	2	0	3	32
	1975～1984	10	4	3	0	1	1	19
	1985～	5	1	1	0	0	1	8
小計		50	25	8	3	6	13	105
擁壁	～1964	9	2	2	1	0	8	22
	1965～1974	9	4	2	2	0	13	30
	1975～1984	3	2	0	0	0	12	17
	1985～	2	2	0	0	0	2	6
小計		23	10	4	3	0	35	75
カルバート	～1964	15	16	0	2	0	9	42
	1965～1974	14	26	0	4	0	6	50
	1975～1984	8	3	0	2	0	11	24
	1985～	2	0	0	0	0	9	11
小計		39	45	0	8	0	35	127
河川構造物	～1964	13	23	2	0	2	5	45
	1965～1974	13	19	1	0	0	7	40
	1975～1984	10	7	4	0	0	5	26
	1985～	5	3	0	0	0	4	12
小計		41	52	7	0	2	21	123
トンネル	～1964	28	0	1	0	1	11	41
	1965～1974	20	0	1	0	0	17	38
	1975～1984	16	1	1	0	1	15	34
	1985～	3	0	0	0	0	8	11
小計		67	1	3	0	2	51	124
トンネル以外の構造物		229	213	19	32	11	112	616
総計		296	214	22	32	13	163	740

表 3-13 アルカリ骨材と判定された構造物

番号	地建	構造物種類	竣工年	状況（2004 年時点での再判定）
B1012	東北	橋梁下部工	1941	橋台アバットの一部分に典型的な ASR ひび割れ。耐荷力的には問題のない場所。（経過観察）
B5003	東北	トンネル	1964	トンネル坑門の外部アーチ部に ASR らしきひび割れ。構造的には問題なし。坑内には症状なし。
B5016	東北	トンネル	1966	ASR もしくは塗りモルタルのひび割れ。
C1064	関東	橋梁下部工	1980	典型的な ASR ひび割れがアバット全面に見られる。
C4036	関東	河川構造物	1983	塗りモルタルのひび割れの可能性あり。コンクリート部にも原因不明のかすかなひび割れ。構造的には問題なし。
C4039	関東	河川構造物	1960	塗りモルタルのひび割れの可能性あり。構造的には問題なし。
D1003	北陸	橋梁下部工	1974	典型的な ASR ひび割れがアバット全面に見られる。
D1005	北陸	橋梁下部工	1985	1 橋台の端部の一部分（水にぬれる部分）に典型的な ASR ひび割れ。
D1008	北陸	橋梁下部工	1970	2 橋脚、2 橋台全面に典型的な ASR ひび割れ。
D1010	北陸	橋梁下部工	1977	1 橋台の全面に水平方向のひび割れ。端部の一部に典型的な ASR ひび割れ。
D2007	北陸	擁壁	1964	擁壁全面に典型的な ASR ひび割れ。
D2008	北陸	擁壁	1974	擁壁全面に典型的な ASR ひび割れ。
D2023	北陸	擁壁	1974	擁壁全面に軽微ながらも典型的な ASR ひび割れ。
D4002	北陸	河川構造物	1963	水門柱の一部に水平方向の卓越した網状ひび割れ。
D4004	北陸	河川構造物	1969	水門柱の端上部の一部に典型的な ASR ひび割れ。
D4023	北陸	河川構造物	1979	水門柱のほんの一部であるが典型的な ASR ひび割れ。
E1003	中部	橋梁下部工	1972	全 4 車線で暫定 2 車線供用の橋の 1 橋脚、2 橋台の未供用部に典型的な ASR ひび割れ。雨がかりの影響が顕著な典型的な例。
E4030	中部	河川構造物	1982	水門上面の欄干の一部で網目状ひび割れ。モルタルのひび割れの可能性あり。

番号	地建	構造物種類	竣工年	状況
G2001	中国	擁壁	1964	重力式擁壁に水平方向が卓越した典型的な ASR ひび割れ。多量の白色折出物が見られる。
G4007	中国	河川構造物	1980	水門橋の受け台の上面の一部にかなり開いた網目状ひび割れ。
G5010	中国	トンネル	1980	覆工コンクリートのほんの一部に網状ひび割れ。これとは別に塗りモルタルにも細かい網状ひび割れ。前者は ASR の可能性がある。
H1019	四国	橋梁下部工	1978	連続高架橋の橋脚の一部の脚に典型的な ASR ひび割れ。水平方向が卓越し、一部はかなり開いている。

*この再判定は第4章、第5章の調査を行った後で、筆者が単独で行ったものである。
表3-2までの判定とは、微妙に異なる部分がある。

3-5 まとめ

基本調査結果（構造物の概要に関するデータ収集と目視調査）をもとに、調査した構造物の劣化度を総合的に判定した。その結果から、以下のことが分かった。

- ・ 古い構造物ほど劣化が進んでいる。
- ・ 全ての構造物が劣化するわけではなく、大部分のコンクリート構造物は健全である。竣工後 35 年以上が経過した構造物でも、その半数以上は、劣化の兆候が認められなかった。
- ・ 補修等を視野に入れて点検や監視などを行うことが必要になると考えられる構造物は、全体の 5.9 %あった。
- ・ 構造物の劣化は、数としては施工に起因するものが大部分を占めており、コンクリートの打込みや養生、かぶりの確保等を確実にやっていくことが重要である。
- ・ アルカリ骨材反応、塩害、凍害によって劣化を生じた事例は、必ずしも多くはない。しかし、劣化度が高い事例では、これらが劣化の原因となっている場合が多い。

次にアルカリ骨材反応に関連しては、以下のことがわかった。

- ・ 2099 構造物のうち、アルカリ骨材反応を生じている、あるいは疑わしい構造物が 22 件あった。これは全体の 1%強である。
- ・ 橋梁下部工と擁壁では、典型的なパターンのひび割れが見られ、発生件数もそれぞれ 8 件、4 件と多かった。これは対象とした構造物の、それぞれ 2%と 1%に相当する。
- ・ この調査では、橋梁上部工とカルバートには劣化事例がなかった。
- ・ トンネルで明らかにアルカリ骨材反応と考えられる事例は 1 件で、坑門に見られた。もう 2 件でアルカリ骨材反応が疑われたが、判断が難しいものであった。
- ・ 河川構造物でも明らかにアルカリ骨材反応と考えられる事例が 4 件あった。もう 3 件でアルカリ骨材反応が疑われたが、判断が難しいものであった。
- ・ 劣化度Ⅳ程度のものが、下部工で 1 件、擁壁で 3 件、河川構造物で 1 件あった。ただし、擁壁のひび割れは見た目にインパクトが強いので、過大評価している可能性はある。
- ・ 1986 年のアルカリ骨材反対策実施以降の構造物でアルカリ骨材反応による劣化が疑われる構造物は、今回の調査では認められなかった。

【参考文献】

- 1) 「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言」, 国土交通省のホームページ,
<http://www.mlit.go.jp/>, 2001.3
- 2) 土木研究所構造物マネジメント技術チーム:「既存コンクリート構造物の健全度実態調査結果－
1999 年調査結果－」, 土木研究所資料 3854 号, 2002.3
- 3) 古賀裕久, 河野広隆, 渡辺博志:「コンクリート構造物の健全度に関する実態調査結果」,
土木技術資料, Vol.42, No.12, pp.58-63, 2000.12
- 4) Hirotaka Kawano, Hiroshi Watanabe, Hirohisa Koga: “NATIONWIDE SURVEY ON SOUNDNESS
OF CONCRETE STRUCTURES”, 2001 Second International Conference on Engineering Materials,
Vol.1, pp.93-100, 2001.8
- 5) 古賀裕久, 河野広隆, 渡辺博志, 田中良樹:「平成 11 年度実態調査結果に基づく実構造物中の
コンクリート品質に関する検討」, セメント・コンクリート論文集, No.55, pp.599-606, 2002.2
- 6) 土木研究所構造物マネジメント技術チーム:「レディーミクストコンクリートの品質実態調査－
(2)1999 年実態調査結果－」, 土木研究所資料 3838 号, 2001.11
- 7) 建設省土木研究所:「橋梁点検要領(案)」, 土木研究所資料第 2651 号, p.20, 1988.7
- 8) 国土交通省土木研究所ほか:コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究,
土木研究所資料第 3811 号, 2001.3
- 9) 国土交通省土木研究所, プレストレスト・コンクリート建設業協会:ミニマムメンテナンス P C
橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅲ)－P C 橋の塩害対策に関する検討－, 共同研究報告書第
270 号, 2001.3
- 10) 日本コンクリート工学協会:融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文
集, 1999.11
- 11) 下村忠一, 酒井洋一, 中島久男:凍結防止剤の散布実態調査, 土木技術資料, 31-5, pp.50-55, 1989.5
- 12) 小林一輔:「コンクリートが危ない」, 岩波書店, 1999.5

第4章 道路橋に見るアルカリ骨材反応劣化構造物の実態

4-1 調査目的

アルカリ骨材反応劣化構造物の劣化進行あるいは劣化シナリオを検討するためにはふたつの方法があると考えられる。ひとつは、ある特定の劣化構造物の経時変化を調査するという方法であり、もうひとつは、多数の構造物に対しある特定の時期に劣化の調査を行うことによって統計的に全体像を把握する方法である。前章では 1999 年の全国調査結果を見たが、この調査はコンクリート構造物全体の劣化状況を把握するためのものであった。全体の構造物の中での、アルカリ骨材反応劣化構造物の状況を捉えるためには有用な資料ではあったが、アルカリ骨材反応劣化構造物の劣化進行あるいは劣化シナリオを検討するために十分な数のデータがあるとは言えない状況であった。

さて、国土交通省近畿地方整備局では、その管理する橋梁の下部構造において鉄筋の破断が発見されたことから、「アルカリ骨材反応橋脚等に関する対策検討委員会」（委員長：宮川豊章京都大学大学院教授）において対策の検討を行っていた。その成果を受け、国土交通省として道路橋のアルカリ骨材反応に対する対応要領（筆者は原案作成に参画）を作成し、2003 年 3 月に全国の直轄国道、関係公団等が管理する橋梁に対して、これに基づき調査、補修等を実施するよう通知を行っている。その際、各地方整備局に対し道路橋におけるアルカリ骨材反応劣化状況を把握するための調査を実施するように通知している。調査結果は国土交通省道路局に集められたが、各地方整備局で独自に行った劣化原因や劣化程度の判断は統一性に欠けるため、各地方整備局から報告されたデータを土木研究所に持ち込み、筆者が判定を行った。これらの結果は、国土交通省道路局および各地方整備局に報告して、2004 年 9 月に国土交通省本省および各地方整備局から記者発表されている。ここでは、「アルカリ骨材反応劣化構造物の劣化進行あるいは劣化シナリオを統計的に検討する」という観点で、この調査結果の再整理と考察を行う。

なお、直轄国道以外の関係公団等が管理する橋梁に対しては、各公団が独自に調査と判定を行っており、筆者は関与していない。このため、それらのデータはこの論文では対象としていない。

4-2 調査方法

調査対象の構造物は、各地方整備局がアルカリ骨材反応による劣化の可能性がある構造物として抽出した約 400 橋の道路橋で、橋台・橋脚が 2737 基、上部構造が 1784 径間である。

調査は、構造物の管理者（地方整備局、内閣府沖縄総合事務局）が収集した構造物に関する基本的な情報（構造物諸元、竣工年、周辺環境など）と構造物に生じた変状の情報（写真やひび割れ図など）を用いて、筆者がアルカリ骨材反応による劣化の程度を評価し、部材ごとに表 4-1 に示す 5 段階の区分で判定することで行った。

構造物の管理者が診断の基礎資料として収集した情報は、表 4-2 のとおりである。これらの情報は、部材ごとに整理・検討した。部材ごとに整理したのは、特に竣工年や補修・補強の有無について、一つの橋梁でも部材ごとに異なっていることが多くあるためである。五段階の区分による判定も、まず、部材ごとに行い、その後、橋梁ごとにとりまとめた。各橋梁に対する判定結果は、その橋梁を構成する部材のうち、最も劣化が著しいとされた部材の判定結果を用いることにした。

収集した情報の評価は、筆者と構造物の管理者らが意見交換しながら検討した。ただし、全国の構造物を一定の判定基準で評価し比較する必要があることから、判定は筆者一人の判断により行った。構造物によっては判定に必要な情報が不足している場合もあった。その場合は、いったん判定不能と分類し、劣化箇所の写真等の再収集を行った上で、改めて判定を行った。

これらの判定は、平成 15 年 12 月から平成 16 年 1 月の間に実施した。

4-3 統計的調査結果と考察

橋梁ごとにとりまとめた判定結果を、図 4-1 に示す。

アルカリ骨材反応による劣化が著しく AAR(補強検討)と判定されたものは 2 橋あった。いずれも、過去に行われた地方整備局独自の調査で、橋脚の一部に鉄筋の破断箇所があることが明らかになっていた橋梁である。すなわち、大阪の堺高架橋（S45～49 年竣工）と姫路の三宅高架橋（S47 年竣工）である。国土交通省直轄の道路橋としては、前者では 2 橋脚で、後者では 1 橋脚の計 3 基の橋脚で鉄筋破断が発見されている。これらの橋梁については、現在、前出の「アルカリ骨材反応橋脚等に関する対策検討委員会」などで、その補修・補強計画が検討されている。

表 4-1 判定結果の区分

区分	詳細
AAR（補強検討）	アルカリ骨材反応により構造物が劣化している。鉄筋の一部に破断が見られるなど劣化の程度が著しく、補強の必要性についても検討する必要がある。
AAR（補修必要）	アルカリ骨材反応により構造物が劣化している。ひび割れ幅が大きく内部の鉄筋が腐食しやすい状態になっているなど、劣化の程度が比較的大きく、補修を行う必要がある。
AAR（補修検討）	アルカリ骨材反応により構造物が劣化している。コンクリートの劣化範囲や周辺環境などについて調査し、補修を行うかどうか検討するのがよい。
AAR（経過観察）	構造物に生じた変状は、アルカリ骨材反応によるものであるか、その可能性が高い。しかし、劣化の程度が軽微であったり、既にひび割れが発生してから長い年月が経ち、ほとんどのひび割れが析出物で埋まっていたりするため、すぐに補修を行う必要はない。橋梁点検時に劣化箇所の経過観察を行うとよい。
非 AAR	構造物に生じた変状は、アルカリ骨材反応によるものとは考えにくい。

表 4-2 構造物管理者により収集された構造物の情報

項目	備考
地方整備局等名	
事務所名	
路線名	
橋梁名	
調査対象	調査対象とした部材（ex. P2, A1-P2 径間）
橋梁形式	調査対象とした部材の種類（ex. 逆 T 式橋台, ポステン T 桁）
竣工年	
所在地	
補修・補強の有無	
補修・補強年	
補修・補強方法	
ひび割れ図（ひび割れ幅）	
現況写真（全景, 劣化部）	部材によっては、調査対象に近接することが困難であるため、劣化部を拡大した写真がない場合も多かった。

AAR（補修必要）と判定されたものは 59 橋あった。これらのほとんどは、著しいひび割れが生じた事例である。一部の構造物では、内部の鉄筋の健全性を確認するためはつり調査が行われていた。しかし、今回の調査で国土交通省直轄の道路橋では、前述した堺高架橋と三宅高架橋以外には、アルカリ骨材反応により内部の鉄筋が脆性的に破断した事例は新たには見つからなかった。

特殊な例としては、塩害地域でかなり大きなひび割れが生じた部分で数本の鉄筋が腐食のために切れている例があった。このため、ひび割れ幅が著しく大きい箇所については、塩害地域に限らず一般の地域でも、ひび割れ箇所に鉄筋の腐食を防止するための樹脂注入を行うとよいと思われる。

他に、AAR（補修検討）と判定されたものが 10 橋、AAR（経過観察）に分類されたものが 216 橋あった。判定に使用した写真の例を、写真 4-1～写真 4-4 に示す。

アルカリ骨材反応による劣化が生じていると見られる事例を合計すると 287 橋で、国土交通省が管理する直轄国道にある全橋梁の約 2 % に相当する。このうち何らかの補修を行ったり、補修の必要性を検討したりすることが必要と考えられるのは 71 橋で、アルカリ骨材反応の影響を受けた橋梁のうちの約 4 分の 1 である。したがって、アルカリ骨材反応による劣化のため、補修を考慮することが必要な橋梁の割合は、直轄国道の全橋梁のうち約 0.5 % となる（図 4-2）。

直轄国道にある全橋梁の約 2 % というアルカリ骨材反応発生率は、第 3 章で見た全 2099 構造物でのアルカリ骨材反応発生率の 1 % より高い値であるが、橋梁下部工での発生率の 2 % と同じ値である。この値を見る限りでは、第 3 章の 2099 構造物に対する調査は、かなり全体を代表した結果を示していると考えられる。

判定結果を地域ごとに整理すると図 4-3 のとおりである。アルカリ骨材反応による劣化が生じた橋梁は、特に北陸地方および中部地方に多い。関東地方となっているもののかなりの部分は長野県を中心とした関東地方整備局管内の西部地域である。

地域別のアルカリ骨材反応の発生率（劣化橋梁数／全橋梁数）を見ると、表 4-3 のようになる。ほぼ、図 4-3 と同じような傾向となる。

また、補修を必要とする橋梁の数では、近畿地方が多くなっている。これは、反応性の高く、膨張量が大いといわれている安山岩骨材が多用されたことが原因のひとつと考えられる。

北海道と東北では、今回は報告事例がなかった。これ

表 4-3 地域別の道路橋の
アルカリ骨材反応発生率

地域	発生率%
北海道	0
東北	0
関東	0.9
北陸	9.3
中部	4.2
近畿	1.4
中国	1.1
四国	0.9
九州	1.5
沖縄	0

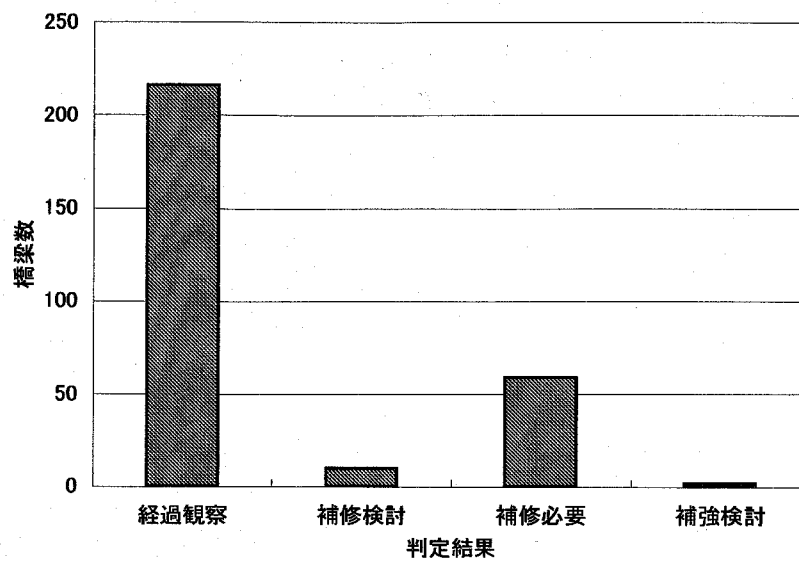


図 4-1 判定結果（橋梁ごと）

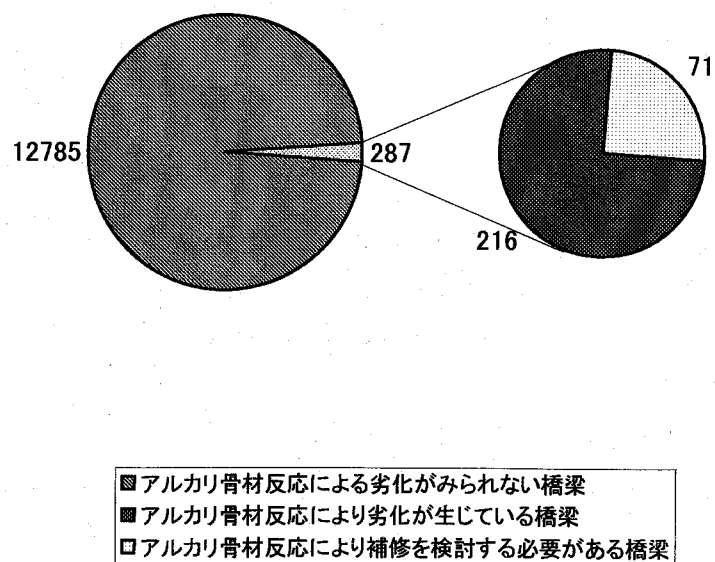
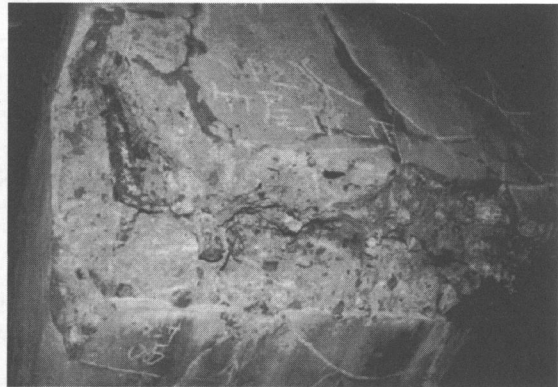
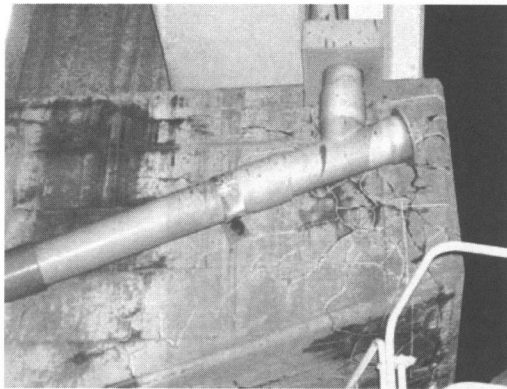
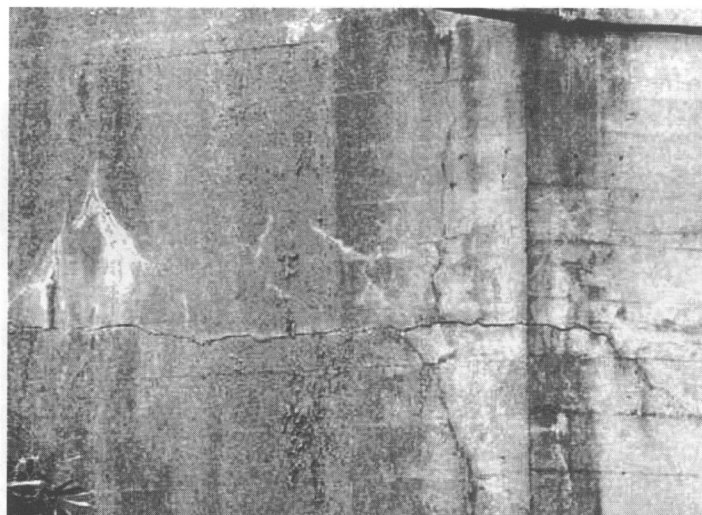


図 4-2 劣化橋梁の割合（直轄国道）



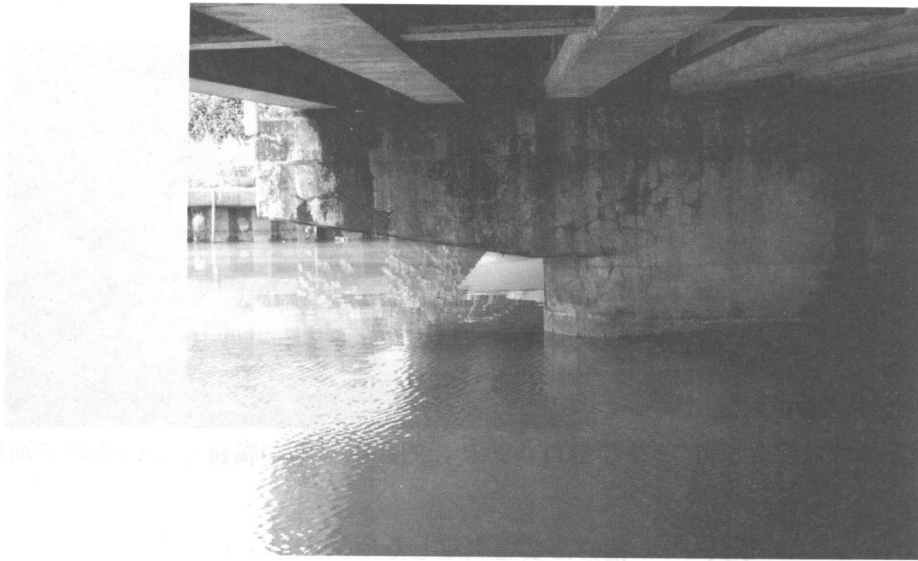
※橋脚張出し部の端部に幅 5 mm のひび割れがあり，内部の鉄筋が腐食しているので補修必要と判断した。

写真 4-1 補修必要と判定した事例



※橋台の隅角部に幅約 2 mm のひび割れがある。この橋梁は跨線橋であり，コンクリート片がはく落した場合に，思わぬ被害を招くおそれがあるので補修必要と判断した。

写真 4-2 補修必要と判定した事例



※水平方向に卓越したひび割れが見られる橋脚で、河川内に位置するため、後日より近接しての目視調査を行った上で、補修の必要性を検討するのがよいと判断した。

写真 4-3 補修検討と判定した事例



※アルカリ骨材反応によるものと見られるひび割れが発生した橋台。端部には部分的に、幅 2 mm と比較的大きなひび割れがあった。しかし、はつり調査の結果、内部の鉄筋には腐食は発生していなかった。そこで、経過観察と判定した。

写真 4-4 経過観察と判定した事例

らの地域でもアルカリ骨材反応試験により「無害でない」と判定される骨材はかなり産出しており¹⁾、劣化構造物が皆無とは考えにくい。気温が低いために劣化が顕在化しにくい、あるいは、凍結融解による劣化と区別しにくい、等の要因でピックアップされなかった可能性もある。

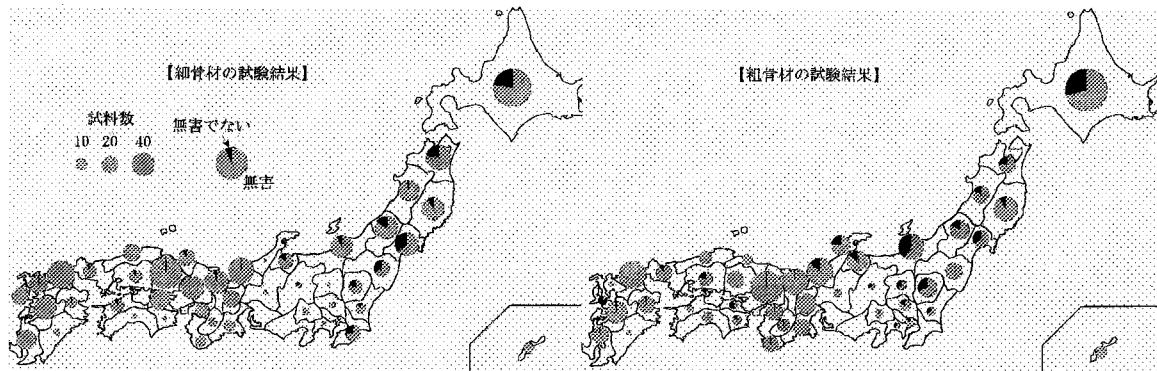


図 4-11 生コン調査にみる反応性骨材の分布¹⁾

さらに、劣化構造物の分布と反応性骨材の分布を比較すると著しい差異が見られる。まず、図 2-2 に示すように、反応性骨材は全国的に分布している。これに対し、流通している反応性骨材の分布は図 4-11 のようであり、かなり東に偏った分布となっている。これに対し、劣化構造物の分布は中部日本から西に偏っている。特に西日本では、アルカリ骨材反応が問題となった以降、反応性を有した骨材の産地の淘汰が進んだものと考えられる。

アルカリ骨材反応による劣化が生じた箇所を部材ごとに整理すると、橋台が 507 基（うち、AAR（補修必要）が 58 基）、橋脚が 531 基（うち、AAR（補強検討）または AAR（補修必要）が 105 基）と多い。残念ながら今回の調査では、報告されなかった健全な橋梁に関する橋脚数、橋台数が不明なため、これらの値が全橋脚数、橋台数の何％に当たるかは定かでない。また、今回の調査は目視観察が中心であったため、地中のフーチング部についても調査ができなかった。

上部構造の劣化事例については、かなりのものが軽微な橋軸方向ひび割れであり、判定は難しかった。アルカリ骨材反応あるいはその疑いが濃いと判断したものは、67 径間と比較的少なく、劣化の程度も軽微であった。そのなかにも、他の劣化原因を消去法で消していくと、アルカリ骨材反応しか残らないために、アルカリ骨材反応と判定したものも多く、アルカリ骨材反応による劣化か必ずしも明確ではない事例が多かった（図 4-4）。上部構造のアルカリ骨材反応の判定に関しては、多くの課題が残っていて、今後も詳細な検討が必要であるとする。

アルカリ骨材反応による劣化が生じている部材の数を年代ごとに整理すると、1961～

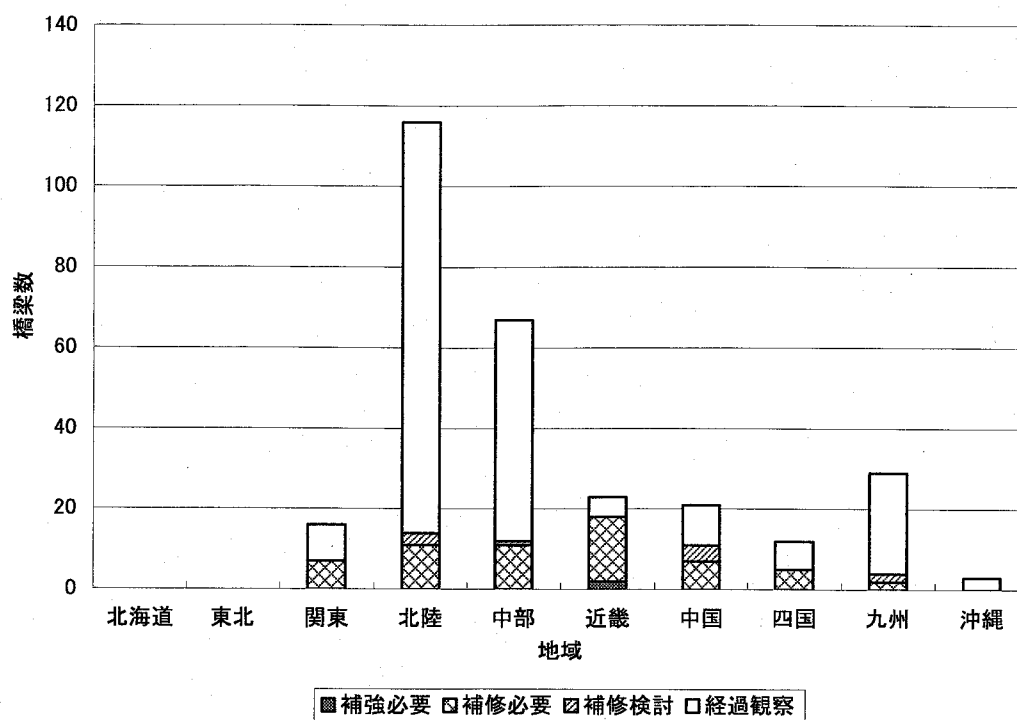


図 4-3 アルカリ骨材反応による劣化が生じた橋梁数（地域別）

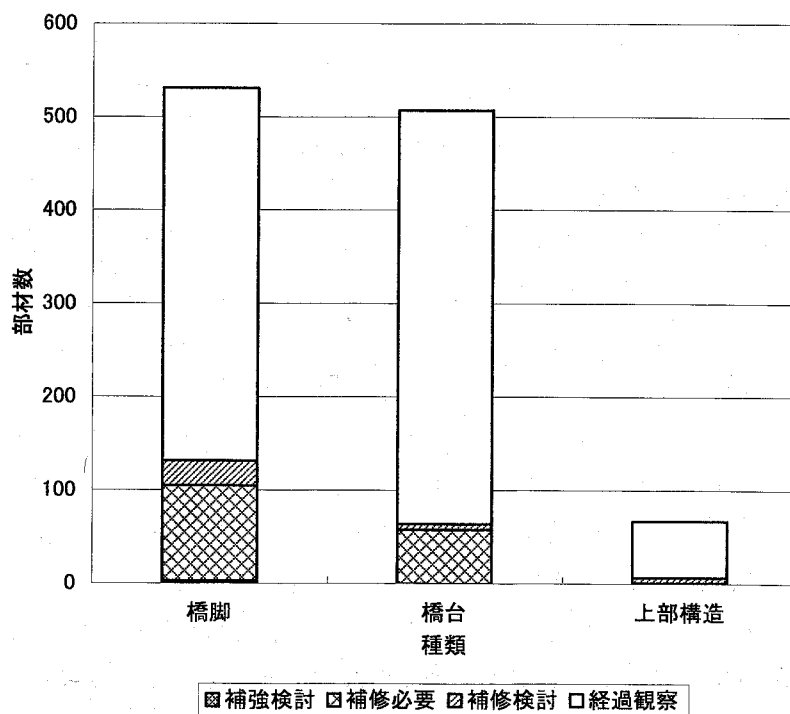


図 4-4 アルカリ骨材反応による劣化が生じた部材数（構造種類別）

1986 年の間に集中している。補修を必要とするような劣化が生じている構造物の竣工年代は、1961～1986 年のものである。一方、1987 年以降に竣工した構造物では、劣化事例がほとんどなく、1986 年、1989 年の旧建設省通達等の抑制対策の効果が現れているものと考えられる（図 4-5）。1987 年以降の竣工とされている場合でも多くの場合は、橋梁の下部構造であるために、橋梁の竣工に先立って 1986 年以前に建設されていた可能性が高い。

劣化が生じている構造物の竣工年代が特に 1971～1980 年の間に集中している理由としてはいくつかの要因が考えられる。まず、この少し前から構造物の建設数が大幅に増えた。このことは、アルカリ骨材反応による劣化構造物の絶対数を増やす要因となりうる。しかし、橋梁の建設数と比較しても、1971～1980 年の劣化構造物の率は高い。次に、この時期は、骨材が河川産から碎石等へ移行するなど多様化し、ポンプ施工の普及などでセメント量が増えた時期である。また、海砂の使用はコンクリート中の Na イオン量を大幅に引き上げるが、第 3 章の全国調査の内、詳細調査のコア調査でも、1970 年代に初期塩分が多いコンクリート構造物が多かったことが判明している。また、セメント中のアルカリ量が地域によっては非常に高くなったことも指摘されている。こうしたことは、アルカリ骨材反応による劣化構造物の数を増やす要因となりうる。しかし、残念ながら今回の調査では、原因を特定するまでには到らなかった。

図 4-5 を見ると、1961～1986 年の間で「補修必要」あるいは「補修検討」の構造物の割合は年代でほとんど変わらないように見える。この理由としては、いくつか考えられる。まず、アルカリ骨材反応による膨張はほぼ 20 年以内に収束するため 1986 年以前の構造物では「補修必要」あるいは「補修検討」の構造物の割合はほぼ一定する、というものである。これとは逆に、劣化は時間とともに進行していくが、新しい構造物ほど劣化速度が大きく、調査を行った 2003 年がたまたま、「補修必要」あるいは「補修検討」の構造物の割合が一定に見える時期にあった、とも解釈できる。次章で示す劣化進行追跡調査の結果を考慮すると、後者の可能性は低く、前者の解釈が妥当であると考えられる。

アルカリ骨材反応による劣化に対する補修（事例数は少ないが、補強事例も含む）の実施状況について整理すると、劣化の影響を受けた 287 の橋梁のうち補修がなされているのは 45 橋で、劣化橋梁数の約 $1/6$ に該当する。劣化の影響を受けた 1105 の部材のうち補修がなされているのは、276 部材で、劣化部材総数の約 $1/4$ に該当する。橋梁ごとに整理した場合より部材ごとに整理した場合の方が補修事例の割合が多いのは、部材の数が多い比較的大規模な橋梁の方が優先的に補修されることや、著しい変状が生じた部材があった場合、その周辺の部材にも予防的な補修（表面被覆など）が行われていること等のためであると考えられる。

建設年代とアルカリ骨材反応に対する補修の有無の関係を整理した結果を図 4-6 に示す。図から、必ずしも古い構造物から補修されているわけではなく、補修された部材の割合に着目すると、むしろ比較的最近の 1981 年～1986 年に建設された構造物で補修事例率が高

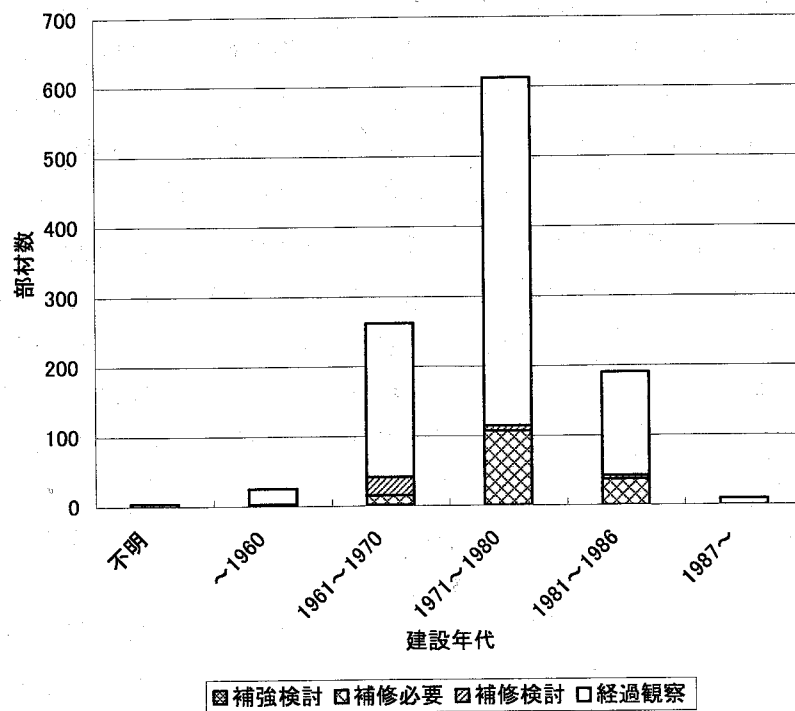


図 4-5 アルカリ骨材反応による劣化が生じた部材数 (年代別)

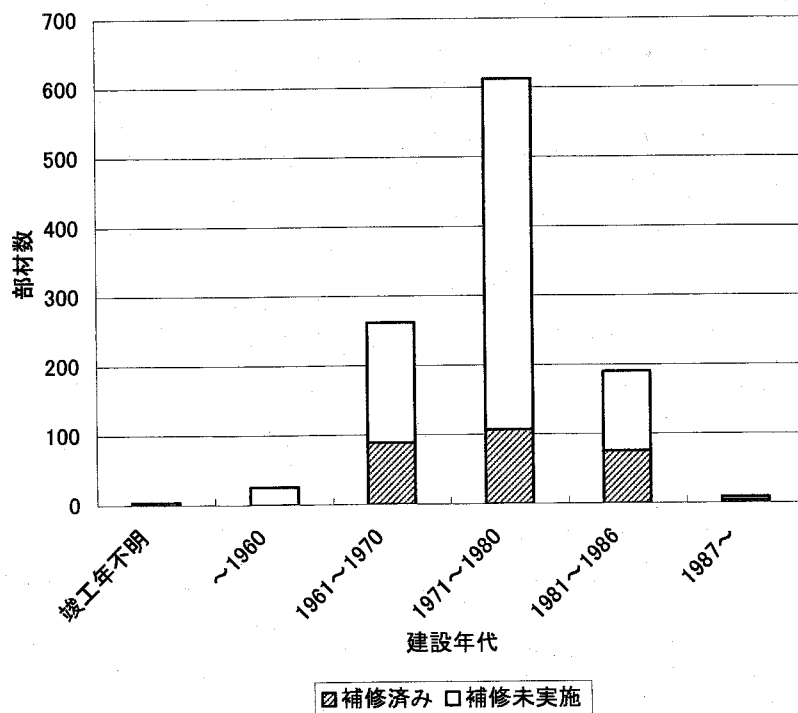


図 4-6 建設年代とアルカリ骨材反応に対する補修の有無の関係

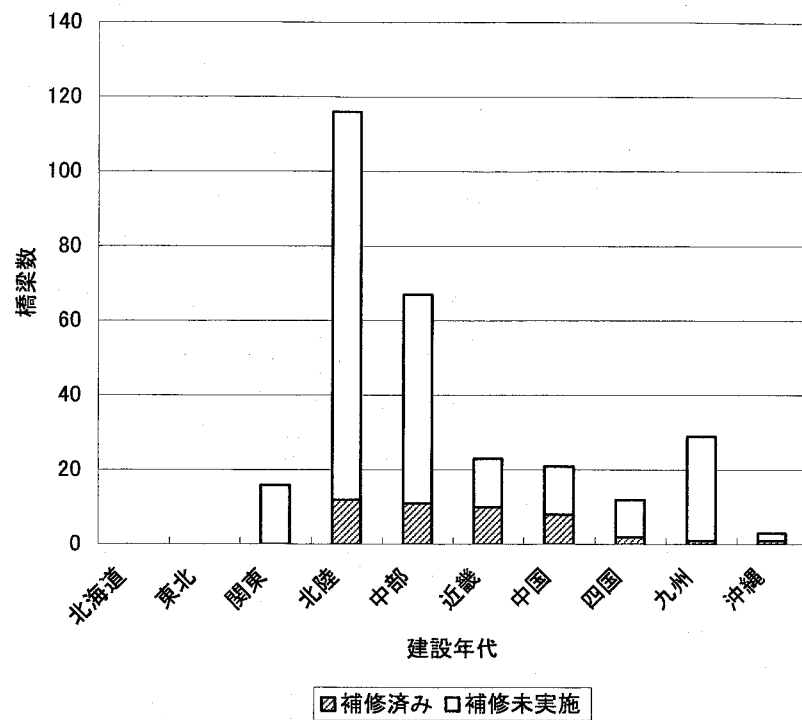


図 4-7 アルカリ骨材反応に対する補修が行われた橋梁数（地域ごと）

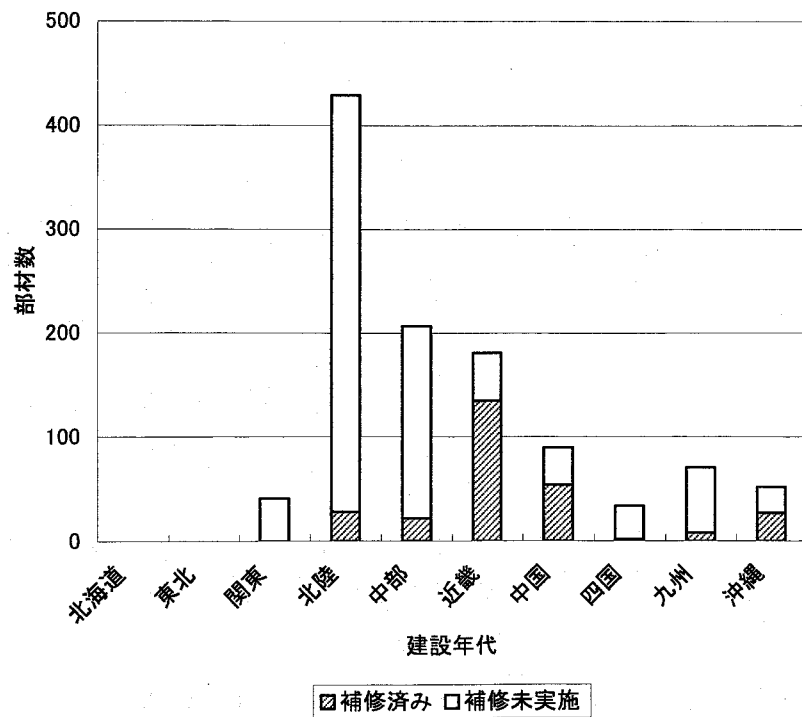


図 4-8 アルカリ骨材反応に対する補修が行われた部材数（地域ごと）

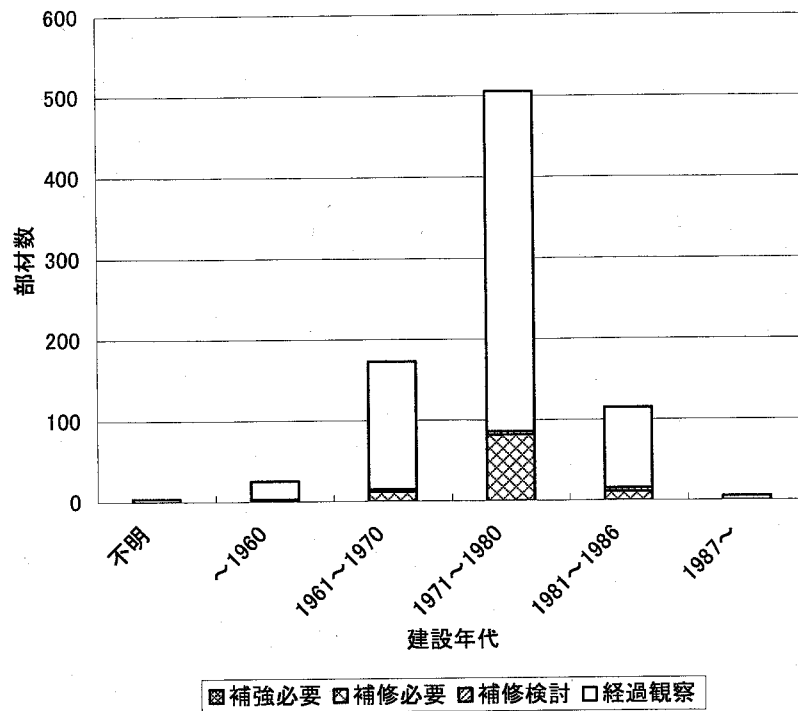


図 4-9 アルカリ骨材反応による劣化が生じた部材数（補修未実施の事例）

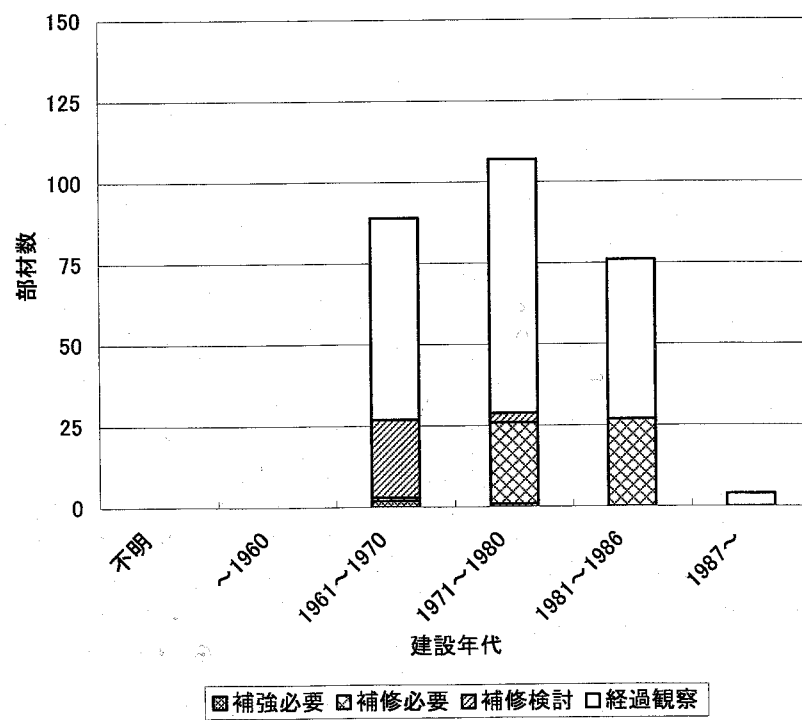


図 4-10 アルカリ骨材反応による劣化が生じた部材数（補修が済みの事例）

い。また、地域別に補修部材数を整理した結果を図 4-7、図 4-8 に示す。近畿地方、中国地方などでは、補修された橋梁の割合が比較的高い。これらの地域は 1980 年代のコンクリートクライシスの際に、アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化問題が大きく取り上げられた地域であり、管理者側としても問題意識が高く、アルカリ骨材反応に対する維持管理が他の地域よりは力が入れたため、補修の実施率が高くなったものと考えられる。

次に、補修の効果について明らかにするため、アルカリ骨材反応に対する補修の有無ごとに竣工年代と判定結果の関係を整理した(図 4-9, 図 4-10)。補修されていない事例では、約 1 割に対して何らかの手当が必要と判断し、補修が施された事例では約 3 割で何らかの手当が必要と判断した。つまり、補修が施された構造物の方が、補修されていない事例よりも、劣化が著しい構造物が多く含まれているように見受けられる。これは、もともと劣化が著しい構造物を選定した上で補修が行われているためであると考えられるが、同時に、補修を行っても劣化の進行が完全には停止せず、再劣化を生じている事例も少なくないことが伺われる。とは言うものの、補修されていない事例では、約 9 割が、補修が施された事例では約 7 割が「経過観察」と判断していて、全体的には 8 割は「経過観察」である。

補修方法としては、ほとんどの場合で塗膜による表面被覆またはひび割れ注入が行われている。橋脚については、鋼板巻き立てによる補強が行われている場合もあるが、これは、耐震補強が主たる目的と考えられる。

以上の結果をもとに、アルカリ骨材反応により劣化した道路橋の状況をまとめ、劣化シナリオを推定すると以下のように考えられる。

- ・ 国土交通省が管理する直轄国道にある全橋梁の約 2 %がアルカリ骨材反応による劣化の症状を呈していた。これらはいずれも、1986 年以前に竣工したものである。それより以降の構造物ではアルカリ骨材反応抑制対策が功を奏し、劣化は見られない。
- ・ アルカリ骨材反応の影響を受けた橋梁のうちの約 4 分の 1 が、何らかの補修を行ったり、補修の必要性を検討したりすることが必要と考えられた。つまり、アルカリ骨材反応による劣化のため、補修を考慮することが必要な橋梁の割合は、直轄国道の全橋梁のうち約 0.5%である。
- ・ 地域的に見ると、道路橋のアルカリ骨材反応の発生率は、北陸と中部で高い。劣化構造物の絶対数もこの地区で多い。北日本では発生率は低い。
- ・ 1961～1986 年の間で「補修必要」あるいは「補修検討」の構造物の割合は年代でほとんど変わらない。
- ・ これらを総合すると、アルカリ骨材反応による膨張は多くの橋梁で 20 年以内に収束したため、1986 年以前の橋梁では「補修必要」あるいは「補修検討」の構造物の割合はほぼ一定すると考えるのが妥当である。
- ・ ただし、一部の橋梁では補修後も劣化が進行したことを否定できない。

4-4 個別の特徴的な結果

アルカリ骨材反応により劣化した構造物の維持管理を考える上で、いくつかの考慮すべき事項が今回の調査から明らかになった。それらのいくつかを示す。

(1) 著しいひび割れと鉄筋腐食の関係

アルカリ骨材反応による事例では、他の劣化要因と比較して著しく大きなひび割れが生じる場合がある。今回の調査でも数 mm 程度の幅のひび割れが生じることは、少なくなかった。このように大きなひび割れが生じた箇所では、写真 4-5 のように腐食により鉄筋径が減少しているとみられる事例もあった。一方、2～3 mm 程度の幅のひび割れがあっても、鉄筋に腐食が見られない事例も多かった。



※ 腐食によりせん断補強筋の径が減少している橋脚、ただし、鉄筋の破断は発生していなかった。はつり前のひび割れ幅は 2 mm。

写真 4-5 腐食による影響の例

アルカリ骨材反応による劣化のため顕著なひび割れが生じた構造物の一部については、現場の判断でひび割れ箇所の鉄筋の健全性を調べるためのはつり調査が行われていた。また、筆者の判断で追加のはつり調査も行った。その結果を表 4-3 に整理する。

調査が行われたのは、19箇所である。このうち2箇所では鉄筋の著しい腐食が生じていた。この他にも10箇所では、程度の差はあるが鉄筋に腐食が見られた。一方7箇所ではコンクリートに1～4 mm 程度の大きなひび割れが生じているにもかかわらず、腐食は生じていなかった。

鉄筋の腐食の有無は海からの飛来塩分や路面に散布される凍結防止剤、上部構造からの排水の流下など、様々な要因の影響を受けるものと思われる、これらの限られた調査結果で

は、ひび割れの程度と腐食の有無の関係は明確でなかった。ただし、著しい腐食が生じた事例の二箇所は、いずれも上部構造からの排水が橋座面などから流下してくると推測される場所であった。

表 4-3 はつり調査の結果

No.	構造物の種類	調査位置	地域	ひび割れ幅 (mm)	海岸線からの 距離	鉄筋の状態	かぶり (mm)
1	橋脚	はり部の端部	北陸	5	4.5km	腐食	
2	橋台	縦壁	北陸	2	4.0km	無し	
3	橋脚	はり部の前面	北陸	3	3.3km	無し	
4	橋台	縦壁	北陸	3	3.5km	軽微	
5	橋台	側面	北陸	4	3.6km	軽微	
6	橋台	縦壁	北陸	2	10km以上	軽微	
7	橋脚	橋座面と柱部鉛直面との隅角部	北陸	0.2	10km以上	一部に軽微な腐食	
8	橋台	前面(ラーメン式橋台)	北陸	1.8	4.5km	腐食	
9	橋脚	柱部	北陸	1	海岸沿い	腐食	
10	橋脚	橋座面と柱部鉛直面との隅角部	北陸	25	海岸沿い	顕著な腐食 (腐食のため一部破断)	
11	橋台	縦壁	北陸	1	海岸沿い	無し	
12	橋台	側面	北陸	4	4.6km	腐食	
13	橋脚	橋座面と柱部鉛直面との隅角部	北陸	2	5km	顕著な腐食 (断面が明らかに減少)	
14	橋台	詳細不明	中部	不明	10km以上	一部腐食	
15	橋台	詳細不明	中部	4	10km以上	無し	
16	橋脚	はり部の下面	関東	不明(約1)	10km以上	無し	150
17	橋脚	橋脚基部	関東	不明	10km以上	無し	100
18	橋脚	フーチング上面	関東	1.4	10km以上	無し	225
19	橋台	パラペット	関東	2	10km以上	軽微	不明

(2) 水かかりと劣化の関係

アルカリ骨材反応による劣化部位は、外部からの水の供給を大きく受けているのが特徴である。今回の調査でも、雨掛かりのある橋脚・橋台の端部でひび割れなどの変状が著しい場合が多く見られた。写真 4-6 のように、連続桁の橋梁では、ジョイントの下に位置する下部構造のみに劣化が生じている場合があった。また、写真 4-7 のように、暫定 2 車線供用の全 4 車線道路の上下線一体型の下部構造で上部に桁のかかっていない部位にのみ劣化が生じている事例がいくつかあった。これらの例からは、雨掛かりの処理、橋梁上面の排水処理などの水仕舞いの重要性が再認識される。



写真 4-6 アルカリ骨材反応による劣化と雨水の影響（連続橋）

※手前の橋脚（ジョイント部）にはアルカリ骨材反応による著しい劣化が見られるが、その隣の橋脚（連続部）では劣化は認められない。

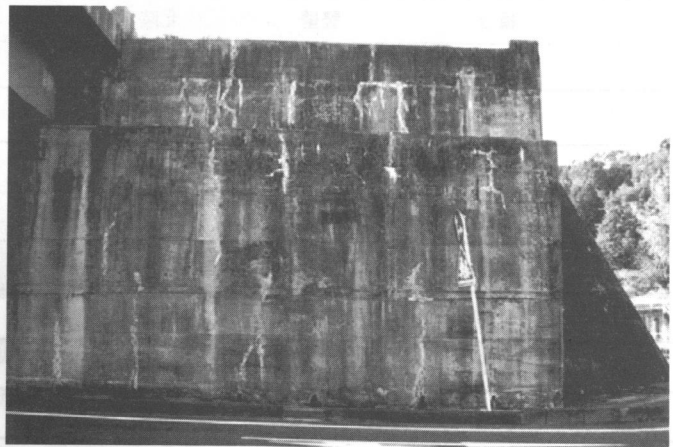


写真 4-7 アルカリ骨材反応による劣化と雨水の影響（上下線一体の橋台）

4-5 本調査から浮かび上がる維持管理上の問題点

今回の調査によって、コンクリート構造物の維持管理に関していくつかの問題点が浮かび上がってきた。そのいくつかについて、以下に考察する。

また、今回の調査に関係して地方整備局からの依頼を受け、いくつかの道路橋で現場にてアルカリ骨材反応の劣化度の判定や補修の要否の技術指導を行ったが、現場での調査からいくつかのコンクリート構造物の維持管理上の問題点が浮かび上がった。ここにその問題点を記述し、第7章でその解決のための提案を行う。

(1) 補修の必要性に関する認識の違い

まず、現場と研究所、あるいは現場担当者と専門的研究者が、同じ劣化構造物を前にしたときの必要と感じる対処の違いが浮かび上がった。

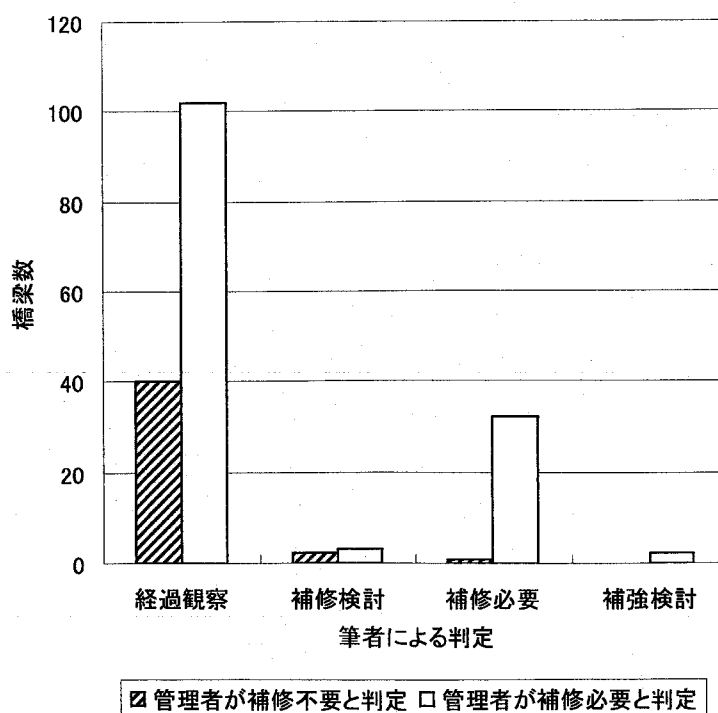
アルカリ骨材反応による劣化に対する変状への補修対策の必要性に関する認識の違いを見るため、各構造物の管理者が判定した補修の要否と、土木研究所で判定した補修の要否を比較した。

アルカリ骨材反応の影響を受けた構造物が存在したのは、関東・北陸・中部・近畿・中国・四国・九州・沖縄の8地域である。このうち、関東・中部・中国の3地域については、管理者が独自に維持管理の方針を定めた結果が記録されていない。そこで、残りの5地域についてとりまとめる。

四国(12橋)・沖縄(3橋)の2地域の管理者は、アルカリ骨材反応の影響を受けた橋梁の全てについて順に補修を行うという維持管理方針であった。一方、土木研究所でこれらの橋梁について判定した結果では、補修必要5橋、経過観察10橋であった。明らかに現場管理者の方が、慎重な対応を想定している。これらの地域

ではアルカリ骨材反応により劣化した構造物の絶対数が少ないことから、そのすべてについて補修することも可能であると現場では判断したとも推察される。

北陸(116橋)・近畿(22橋)・九州(29橋)の3地域の管理者は、構造物の劣化状況により、補修が必要かどうか判定した上で、必要な橋梁に補修を行うという維持管理方針であった。しかし、北陸で116橋中92橋(79%)、近畿で22橋中20橋(91%)、九州で29橋中12橋(41%)の補修を計画することになっており、約1/4の橋梁について補修を行えばよいと



※北陸・近畿・四国・九州・沖縄地方の事例について作成した。

図4-12 補修の必要性に関する管理者による評価結果と筆者による評価結果の関係

した土木研究所の判定結果とは大きく異なっている。

これらの結果をとりまとめて図4-12に示す。筆者が補修必要または補修必要と判断した構造物は、管理者の評価でもほとんどの場合で、補修が必要と判定されている。一方、筆者が経過観察とした橋梁の7割近くで、現場管理者は補修が必要と判断している。これは、アルカリ骨材反応による劣化についても、早期に補修しておかないと著しい劣化につながるおそれがあると考え、管理者側の強い危機意識の表れであると考えられる。

補修の必要性に関する認識のギャップに関しては、それをなくすようなシステムを作るか、あるいはギャップがあっても適切なところに着地させるためのシステムを作る必要がある。

(2) 排水処理に対する無関心

前節でみたように、アルカリ骨材反応構造物の劣化の発生、あるいは劣化の進行には水の供給が重要な役割を果たす。ところが、橋梁の排水処理に関しては、設計時には排水孔や排水ダクトが設けられるものの、その維持管理にはあまり関心が払われていないようである。写真4-8は排水管が腐食して、全く機能を失った例である。写真4-9は排水管がふさがり、橋台面に水が流下している例である。ここでは水の流下のためアルカリ骨材反応だけでなく、凍結融解による劣化も併発している。前節の写真4-6や写真4-7の例のように、排水さえきちんとしていれば、アルカリ骨材反応の発生そのものは抑えられなくとも、劣化程度はかなり抑えられたと考えられる事例が多数認められた。これまで、日常点検では排水処理や水仕舞い関連の維持管理には、ほとんど配慮がなされてこなかったが、長期的な維持管理のコストパフォーマンスを考えた場合、より多くの注意が払われてしかるべきであると考ええる。

(3) 構造物全体に対する配慮の欠如

現在、道路橋では5年に1回の点検が行われている。また、日本のどこかで何らかの問題が生じると、一斉点検が行われることが多い。このため、少なくとも橋梁に対しては点検の回数は少なくない。しかしながら、それらの点検が有機物に関連して考察されていない事例も多いように思われる。また、1つの構造物を複数の技術者が見ていて、不具合を発見していながらそれぞれが一面的な見方をしていたため、不具合の真の原因を特定できていない事例もある。写真4-10は橋台の桁側の面の鉄筋かぶり部分が大きく剥離している事例である。この橋の周辺にはアルカリ骨材反応の構造物が多いため、現場ではこの剥離もアルカリ骨材反応によるものではないかと疑った。この部分の上の舗装面を見ると、写真4-11のように少なくとも3回に渡ってアスファルト舗装が補修されていることがわかる。舗装担当者は舗装担当者で何らかの不具合を見て独自に対処していたと考えられる。しかし、これらの不具合の真の原因は桁端部のフィンガージョイントの歯かみ合い(写真4-12)によるものである。フィンガージョイントがその機能を果たさなくなったため、桁の温度による伸縮を吸収できなくなり、橋台側のフィンガージョイントとその下にあるアンカーを引っ張ったものと考えられる。この結果として舗装面にはひび割れが生じ、アバットではコンクリートが剥離したのと考えられる。この場合の問題点は、橋梁に生じたいくつかの不具合を複数の技術者が認識していながら、それぞれ単独で対処していたため、真の原因究明がなされなかったことである。橋梁全体を見る体制が必要である。

この例ではフィンガージョイントのかみ合いという非常に珍しい現象が生じていたが、これに関して別の問題点も浮かび上がる。現在、コンクリート構造物、特に橋梁では、モニタリングシステム、エキスパートシステム、ユビキタス技術の活用などへの要望が増えている。もちろんこうした技術は

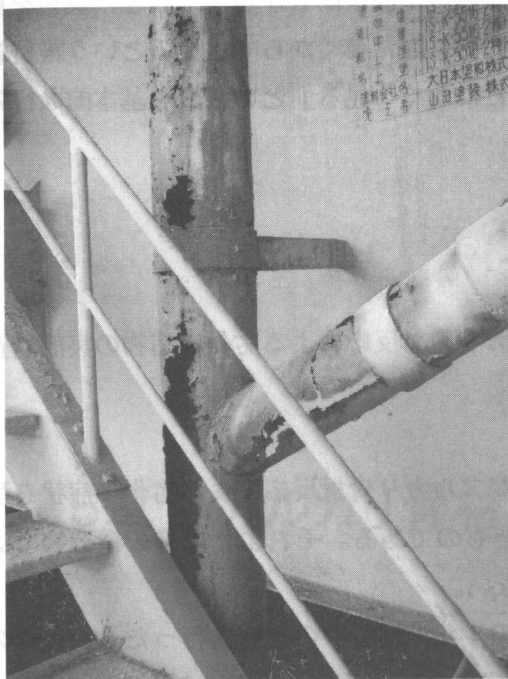


写真 4-8 配水管の劣化

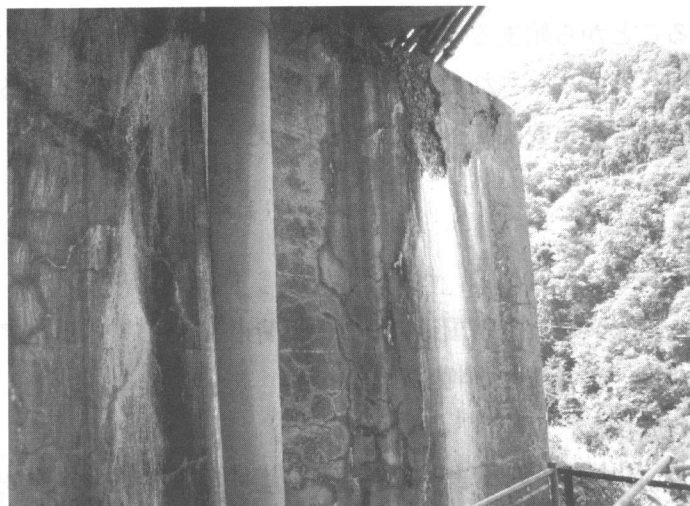


写真 4-9 水道(みずみち)に生じたアルカリ骨材反応と凍害による劣化

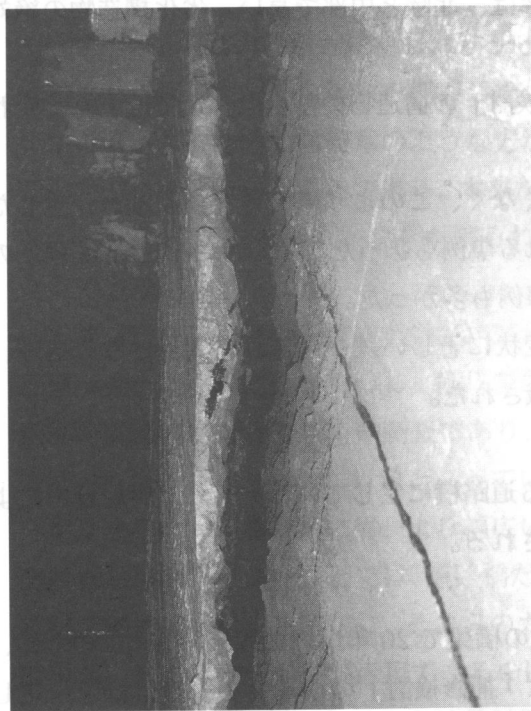


写真 4-10 橋台のコンクリート剥離



写真 4-11 橋上面の舗装修理あと



写真 4-12 フィンガージョイントのかみ合い

使い方によっては非常に大きな維持管理の合理化につながる可能性を有している。しかし、これらを整備すると維持管理のために現場に行かなくともよくなるという論調に対しては大きな疑問を感じる。現場では予測できない現象が往々として生じるし、予測できない劣化についても、どこで生じ

るかを予め特定しておくことは至難のことである。維持管理の基本は技術者が現場へ赴き、現物を見ることから始まると考える。特に県や市町村の管理下の構造物では、遠くからでも見るという維持管理行為さえなされていない構造物も数多く見かけている。とにかく「見る」という最も基本的な行為を、より重要視すべきであると考ええる。

4-6 まとめ

国土交通省直轄国道にかかる道路橋に対して行ったアルカリ骨材反応による劣化構造物の実態調査から、次のことが判明した。

- ・ 国土交通省が管理する直轄国道にある全橋梁の約2%がアルカリ骨材反応による劣化の症状を呈していた。これらはいずれも、1986年以前に竣工したものである。それより以降の構造物ではアルカリ骨材反応抑制対策が功を奏し、劣化は見られない。
- ・ アルカリ骨材反応の影響を受けた橋梁のうちの約4分の1が、何らかの補修を行ったり、補修の必要性を検討したりすることが必要と考えられた。つまり、アルカリ骨材反応による劣化のため、補修を考慮することが必要な橋梁の割合は、直轄国道の全橋梁のうち約0.5%である。
- ・ 地域的に見ると、道路橋のアルカリ骨材反応の発生率は、北陸と中部で高い。劣化構造物の絶対数もこの地区で多い。北日本では発生率は低い。
- ・ 1961～1986年の間で「補修必要」あるいは「補修検討」の構造物の割合は年代でほとんど変わらない。
- ・ 数mm程度の幅のひび割れが生じることは、少なくとも、このように大きなひび割れが生じた箇所では、腐食により鉄筋径が減少しているとみられる事例もあった。一方、2～3mm程度の幅のひび割れがあっても、鉄筋に腐食が見られない事例も多かった。
- ・ 外部からの水の供給の有無により、ひび割れなどの変状に著しい差が見られ、雨掛かりの処理、橋梁上面の排水処理などの水仕舞いの重要性が再認識された。

以上の調査結果から、現に国土交通省直轄国道にかかる道路橋に生じているアルカリ骨材反応による劣化のシナリオを推定すると以下のようにになると推察される。

- ・ アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張は、多くの橋梁で20年以内に収束する。このため、1986年以前の竣工の橋梁では「補修必要」あるいは「補修検討」の構造物の割合はほぼ一定している。
- ・ ただし、一部の橋梁では補修後も劣化が進行したことを否定できない。

【参考文献】

- 1) 古賀裕之，河野広隆：骨材のアルカリ骨材反応に関する全国調査，土木学会年次学術講演会第5部門，CD-ROM 5001，2004

第5章 アルカリ骨材反応劣化構造物の追跡調査

5-1 調査目的

前章では、多数の構造物に対し、ある特定の時期に劣化の調査を行うことによってアルカリ骨材反応劣化構造物の状況の全体像を把握した。アルカリ骨材反応劣化構造物の劣化進行あるいは劣化シナリオを検討するためには前章のような方法もあるが、もうひとつの方法は、ある特定の構造物の経時変化を調査するというものである。本来ならば、後者の方のデータを多数積み重ねるのが望ましいと考えられるが、現状ではデータ数が限られているのと調査に非常に長期間を要するのがこの方法のネックである。

阪神高速道路公団や旧建設省近畿地方建設局では、劣化の著しい構造物に対し、昭和 50 年代から各種調査を継続的に行っている。経時変化を調査する貴重なデータである。しかしながら、これらは基本的には補修を行うための調査であり、補修後の構造物の追跡調査である。また、劣化の程度としては、かなり著しいものが対象となっている。追跡調査により、アルカリ骨材反応劣化構造物の劣化シナリオを検討するためには、より幅広い要因を有した構造物群を調査する必要がある。現在、国土交通省北陸地方整備局などでは、道路橋だけではなくボックスカルバートなど多くの種類のアルカリ骨材反応劣化構造物を特定し、それらのカルテを作って追跡調査を行う体制を取りつつある。しかしながら、それらのデータが活用できるのは、まだまだ先のことになる。

ここでは、過去に行ったアルカリ骨材反応劣化構造物の調査データを活用し、追跡調査を行うことを試みた。筆者らが建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリート構造物の耐久性向上技術の開発」(1985-1987)の一環として調査を行ったアルカリ骨材反応劣化構造物の調査対象構造物を中心に、追跡調査の可能な構造物を選定し、2003 年あるいは 2004 年の状況を把握することにより、2 回の調査の期間にアルカリ骨材反応がどのように進展したかを把握するための調査を行った。

5-2 調査対象構造物

5-2-1 調査対象の選定について

土木研究所では、これまでに劣化原因の解明や構造物の維持管理手法の確立などを目的として、各種全国調査を行っている。今回、調査対象とした構造物は、以下の点に留意して選定を行った。

- ・ ひび割れの原因が、アルカリ骨材反応によるものかどうか
- ・ 当時の点検者の所見は妥当かどうか

その結果、69 件の構造物を選定して、再調査することにした。

以下に、それぞれの資料の概要を示す。

(1) コンクリート構造物劣化実態調査¹⁾【1985（昭和 60）年】

原因不明のひび割れを生じている構造物 92 件に対して、アルカリ骨材反応による劣化かどうかを明らかにするため、構造物の設計施工条件、立地環境条件の調査ならびに被害状況について現地での調査を実施している。なお、これらの 92 件の構造物は、その前年に行われた約 2,250 件の構造物のアンケート調査結果から抽出されたものである。

(2) 土木研究所彙報－コンクリート構造物の補修事例集－²⁾【1987（昭和 62）年】

補修されたコンクリート構造物の補修前の損傷状況と補修方法、補修後の経過について実態調査を行っている。対象構造物の形式は全て橋梁で、全国で 33 の橋について調査を行っている。劣化原因は、塩害、アルカリ骨材反応、凍害、その他と区別されており、そのうちアルカリ骨材反応に該当するのは 2 件あった。

(3) 既存コンクリート構造物の健全度実態調査－1999 年調査結果－³⁾【1999（平成 11）年】

3 章に示す 1999 全国調査中に明らかにアルカリ骨材反応による劣化の影響を受けていると考えられる構造物は 17 件あった。

5-2-2 調査対象構造物の特徴

今回調査対象とした構造物のリストを表 5-1 に示す。それらの特徴を以下に示す。

(1) 地域

調査対象となった構造物の地域的な分布を表 5-2 に示す。地域としては、北陸地方が最も多く、次に中国地方の構造物が多かった。

(2) 構造物種類

構造物の種類で分類した結果を表 5-3 に示す。構造物種類としては、橋梁下部工が最も多く、次に擁壁や防波堤が多かった。

(3) 竣工年と調査時点での経過年数

構造物の竣工年を表 5-4 に、過去の調査時点までの経過年数を表 5-5 に示す。竣工年としては、1970 年代の構造物が最も多く、次に 1960 年代が多かった。また、構造物の竣工から各調査時点までの経過年数は、11 年～20 年のものが最も多く、5 年未満で劣化が生じている構造物は無かった。

表 5-2 構造物数（地域別）

地域	構造物数
北海道	1
東北	1
関東	2
北陸	37
中部	2
近畿	6
中国	15
四国	4
九州	1
計	69

表 5-3 構造物数（構造物種類別）

構造物種類	構造物数
橋梁下部工	50
擁壁	12
防波堤	1
水門	2
砂防ダム	1
ボックスカルバート	1
堰	1
流路工	1
計	69

表 5-4 構造物数（竣工年別）

竣工年	構造物数
1940年～1949年	1
1950年～1959年	3
1960年～1969年	22
1970年～1979年	36
1980年～1985年	5
不明	2
計	69

表 5-5 構造物数（経過年数別）

経過年数	構造物数
0～5年	0
6～10年	6
11～20年	41
21～30年	16
31～40年	2
41年以上	2
不明	2
計	69

表5-1 過去の調査結果よりアルカリ骨材反応による劣化と判定した構造物

(土木研究所 1985ASR調査, 1988土研集報, 1999健全度調査)

整理番号	構造物名	所在地	竣工年	路線名・または河川名	補修の有無	(補修年)
A9901	比布大橋(下部工・P2)	北海道	1958	国道39号, 20.7km	無し	補修履歴無し
B9902	新城大橋	青森県	1941	国道7号, 467.5km	無し	補修履歴無し
C9903	新鳥居橋	長野県	1973	国道18号, 143.78km	無し	補修履歴無し
C9904	置原橋	長野県	1980	国道19号, 237.63km	無し	補修履歴無し
D8503	蛭川水門	長野県	1973	千曲川, 蛭川	有り	不明
D8504	新潟大堰	新潟県	1970	関屋分水路	無し	補修履歴無し
D8506	海老ヶ瀬IC橋	新潟県	1975	国道7号	無し	補修履歴無し
D8507	新潟大橋	新潟県	1977	国道8号	無し	補修履歴無し
D8508	横尾大橋	新潟県	1969	国道116号	無し	補修履歴無し
D8509	加治大橋	新潟県	1962	国道7号	無し	補修履歴無し
D8510	取上橋	新潟県	1968	国道49号	有り	不明
D8511	城所跨線橋	新潟県	1974	国道49号	無し	補修履歴無し
D8512	切手橋	新潟県	1969	国道113号	無し	補修履歴無し
D8513	堀之内大橋	新潟県	1963	国道17号	無し	補修履歴無し
D8514	姫川大橋	新潟県	1966	国道8号, 姫川	無し	補修履歴無し
D9905	新井郷川橋(上り)下部工	新潟県	1985	国道7号, 12.5km	無し	補修履歴無し
D9906	地久子橋 下部工	富山県	1970	国道8号, 266.8km	有り	1991年3月
D9907	寺島橋 下部工	富山県	1971	国道8号, 252.9km	有り	1990年3月
D9908	女池	新潟県	1973	国道8号, 6.6km	無し	補修履歴無し
D9909	江尻高架橋取付擁壁	富山県	1974	国道8号, 272.04km	無し	補修履歴無し
E8518	吉ヶ原橋取付擁壁	岐阜県	1967	国道41号	無し	補修履歴無し
E8536	境高架橋	岐阜県	1970	国道258号	有り	補修履歴無し
F8537	堺高架橋	大阪府	1974	国道26号	有り	不明
F8539	姫路バイパス	兵庫県	1974	国道2号	無し	補修履歴無し
F8540	永峰流路工	兵庫県	1979	都賀川	無し	補修履歴無し
F8542	浜手バイパス	兵庫県	1979	国道2号	無し	補修履歴無し
F8801	PC単純合成桁	兵庫県	不明	国道2号	有り	1984年
F9910	岩崎7517跨道橋BOX	京都府	1964	国道9号, 75.172km	無し	補修履歴無し
G8552	地御前跨線橋	広島県	1972	地御前跨線	無し	補修履歴無し
G8553	観音高架橋	広島県	不明	観音高架橋	無し	補修履歴無し
G8802	PC橋(8@15.0+58.5m)	広島県	1973	-	有り	1984
G9911	速谷橋(下り)	広島県	1977	国道2号, 35.2km	有り	1997年2月
G9912	国道29号擁壁	鳥取県	1964	国道29号, 74.78km	無し	補修履歴無し
G9913	国道9号擁壁	鳥取県	1973	国道9号, 212.525km	無し	補修履歴無し
G9914	国道53号擁壁	鳥取県	1982	国道53号, 118.986km	無し	補修履歴無し
H8554	川津高架橋	香川県	1975	国道11号	有り	1985
H8555	新本津川橋	香川県	1973	国道11号	無し	補修履歴無し
H9915	森松高架橋(上り・P3橋脚)	愛媛県	1978	国道33号, 113.386km	無し	補修履歴無し
H9916	萱原改良工事 4号擁壁	香川県	1981	国道32号, 16.1km	無し	補修履歴無し
J9917	福岡橋	福岡県	1981	国道10号, 49.3km	無し	補修履歴無し
N8515	稲荷跨線橋取付擁壁	富山県	1966	八幡田稲荷線	無し	補修履歴無し
N8516	八幡橋	富山県	1965	笹津富山線, 熊野川	無し	補修履歴無し
N8517	横越橋	富山県	1972	魚津立山線, 白岩川	無し	補修履歴無し
O8519	羽咋大橋	石川県	1959	国道249号	無し	補修履歴無し
O8520	川原町跨線橋	石川県	1972	国道415号	無し	補修履歴無し
O8521	川尻橋	石川県	1968	志賀富来線	無し	補修履歴無し
O8522	日詰橋	石川県	1972	県道羽咋田鶴浜線	無し	補修履歴無し
O8523	米町川橋	石川県	1967	国道249号	無し	補修履歴無し
O8524	六号橋	石川県	1970	国道249号	無し	補修履歴無し
O8525	境橋	石川県	1970	輪島富来線	無し	補修履歴無し
O8526	亀部田新橋	石川県	1971	国道249号	無し	補修履歴無し
O8527	本田橋	石川県	1960	国道249号	無し	補修履歴無し
O8528	剣地大橋	石川県	1966	国道249号	無し	補修履歴無し
O8529	紅葉橋	石川県	1970	穴水剣地線	無し	補修履歴無し
O8530	天神橋	石川県	1959	国道249号	無し	補修履歴無し
O8531	明治橋	石川県	1961	珠州・里線	無し	補修履歴無し
O8532	白濁橋	石川県	1960	国道249号	無し	補修履歴無し
O8533	川淵橋	石川県	1969	国道160号	無し	補修履歴無し
O8534	八幡川橋	石川県	1960	国道160号	無し	補修履歴無し
O8535	岡野大橋	石川県	1967	国道160号	無し	補修履歴無し
O8536	栄橋	石川県	1968	七尾輪島線	無し	補修履歴無し
O8537	塚田橋	石川県	1973	国道249号	無し	補修履歴無し
O8538	宗下橋	石川県	1966	七尾輪島線	無し	補修履歴無し
P8544	大島海岸防波堤	山口県	1977	大島海岸	無し	補修履歴無し
P8545	光上関線擁壁1	山口県	1973	光上関線	無し	補修履歴無し
P8546	光上関線擁壁2	山口県	1973	光上関線	無し	補修履歴無し
P8547	下松田布施線跨線橋	山口県	1973	下松田布施線	無し	補修履歴無し
P8548	吉井川砂防ダム	山口県	1977	吉井川	無し	補修履歴無し
P8549	柳井上関線防波堤	山口県	1973	柳井上関線	無し	補修履歴無し
P8550	柳井上関線擁壁	山口県	1973	柳井上関線	無し	補修履歴無し
P8551	由宇港水門	山口県	1974	由宇港	無し	補修履歴無し
P8552	祖生通津線擁壁	山口県	1974	祖生通津(停)線	無し	補修履歴無し

5-3 調査方法

5-3-1 調査方法概要

調査は、図 5-1 に示す流れに沿って行った。

- ① 過去の調査結果（1985 年、1988 年、1999 年）から得られる情報（劣化部位の写真、ひび割れ図、当時の調査者の所見等）を参考にして、これらの時点での劣化度を判定
- ② 選定した構造物について、追跡調査を実施
- ③ 追跡調査の結果から、再度劣化度を判定
- ④ 対象構造物の過去の調査時点での劣化度と現状の劣化度を比較

なお、劣化度判定の評価基準については、5-3-3 に示す。

また、追跡調査の実施方法については、構造物の管理者に調査を依頼したもの（40 件）と、筆者らが直接現地に赴き、調査したもの（29 件）がある。

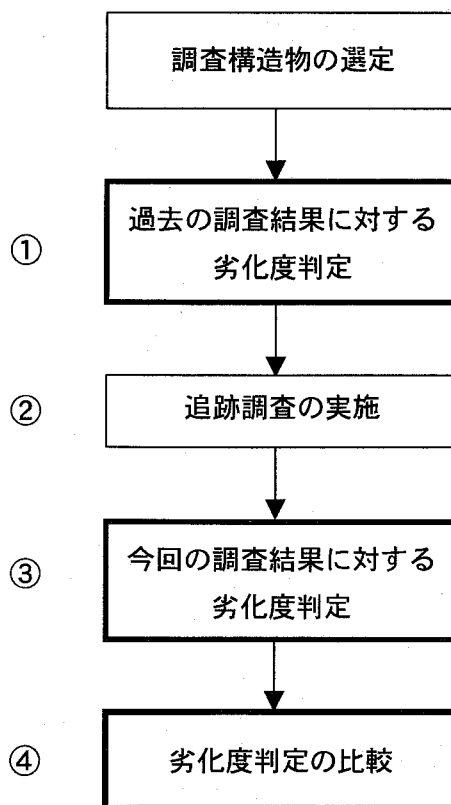


図 5-1 調査の流れ

5-3-2 追跡調査の調査項目

今回の調査で行った調査項目を表 5-6 に示す。調査は、原則として地上から目視で点検できる範囲内で実施することとし、点検車や足場の設置は行わなかった。

また、付録Ⅱに構造物の管理者に調査を依頼する場合に使用した調査票を掲載した。

表 5-6 調査項目

	種類		調査項目	調査票
過去の調査の抜粋	構造物データ		構造物名	構造物データ票
			構造物の種類	
			所在地	
			竣工年	
			路線名又は河川名	
			補修の有無（補修年）	
			補修工法・材料	
			過去の状況写真	
新規調査	構造物調査	現況調査	調査年月日	調査票 (1/3)
			現存の有無	
			補修の有無	
			補修年	
			補修工法	
			現在の状態	
		損傷状況	ひび割れ図	調査票 (2/3)
		写真	写真	調査票 (3/3)

5-3-3 劣化度の判定

アルカリ骨材反応により劣化した構造物について、外観調査により劣化度を判定しようとする場合、ひび割れの本数や延長、ひび割れ幅などについて定量的な評価を行うが望ましい。しかし、各構造物本体に占める劣化部位の大きさ（範囲、ひび割れ長さ等）は様々である。また、今回の調査では、基本的には現場からの限られた図面や写真等の資料から、劣化度を判定しなければならず、実際上定量的な評価は不可能であった。また、仮に、ひび割れの本数や延長、ひび割れ幅などを定量化したとしても、変状の程度と構造物としての耐久性への影響の大きさを結びつけるのは簡単ではない。そこで、調査を行った 69 件の構造物を対象として、写真と図面等を総合的に判断して、劣化の程度を評価することにした。劣化度判定の指標としては、表 5-7 の評価基準を用いた。具体的には、ひび割れ幅が 1mm 以上でかつ広い範囲にひび割れが広がっている事例などを“補修必要”と判定し、ひび割れ幅が析出物などで塞がっている場合や損傷の範囲が狭い場合などを“経過観察”とした。

評価区分に該当する事例の写真を写真 5-1、写真 5-2 に示す。また、2つの基本的な評価基準のほかに、現在の状況についても別途評価した。

表 5-7 評価基準

区分	内 容
補修必要	アルカリ骨材反応によりひび割れが発生し、内部の鉄筋が腐食しやすい状態になっているため、補修を行う必要がある。
検討必要	今回の資料だけでは補修が必要か、経過観察でよいかわ明確にできない。鉄筋の部分的なはつり出し等追加の調査を行うなどして、判断する必要がある。
経過観察	構造物に生じている劣化の原因は、アルカリ骨材反応によるものか、その可能性が高い。しかし、劣化の程度が軽微であり、当面は劣化箇所の経過観察を行うとよい。
ASRではない	種々の情報から総合的に判断すると構造物に生じた変状はASRによるものとは考えにくい。
情報不足	補修要不要を判断するための情報が不足。
対策済み	構造物は現存し、何らかのASR対策を実施している。
現存せず	理由は明確ではないが、現存していない。



写真 5-1 “補修必要”の事例



写真 5-2 “経過観察”の事例

5-4 調査結果

(1) 劣化の部位

構造物種類の中で、調査対象が最も多かったのは橋梁下部工である。その内訳は、橋台が 33 橋、橋脚が 17 橋であった。次に多いのが擁壁であり、いくつかの河川構造物が続く。この傾向は、第 3 章の表 3-12 の傾向とほぼ同じである。

劣化が顕在化している箇所は、上部からの水の影響を受けやすい箇所が主であった。つまり、橋台では堅壁やパラペットの端面、橋台前面や桁座等、橋脚では梁の端面付近（梁側面、梁下面等）での劣化が多くみられた。これに対し、擁壁では裏面からの水分の影響を受けるためか、ほぼ全面に劣化が生じていた。

(2) 調査時点での補修履歴

図 5-1 に補修履歴を示す。

過去の調査時点での補修状況は、無補修の構造物が 60 件であり、すでに補修が実施されていた構造物が 9 件であった。補修方法としては、表面被覆工法 4 件、ひび割れ注入工法 2 件、それらを併用したもの 2 件、不明 1 件であった。

一方、現時点では、補修・補強、また現存していないなど何らかの対策が施されたものは 41 件あり（過去調査時点での補修済みも含む）、過半数を占めた。しかし、その対策の理由がアルカリ骨材反応の劣化のみによるものかどうかは不明であった。

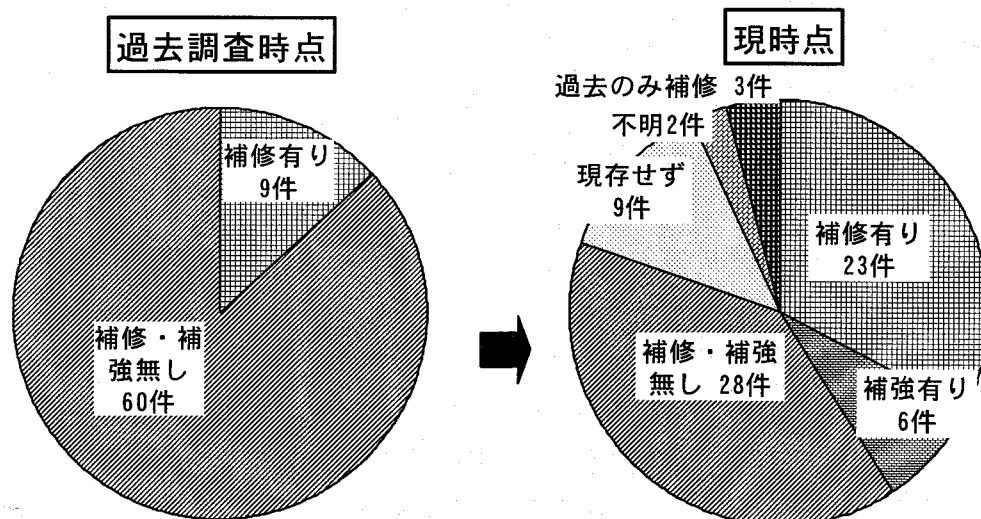


図 5-1 補修履歴の実態

表5-8 追跡調査結果一覧(1/2)

調査の判定結果

- | | |
|------------------|------------|
| 1. 補強も必要 | 6. ASRではない |
| 2. 補修が必要 | 7. 情報不足 |
| 3. 補修が必要かどうか検討 | 8. 対策済み |
| 4. 経過観察 | 9. 現存せず |
| 5. ASRではないが補修が必要 | 10. 原因不明 |

整理番号	構造物名	構造物の種類	竣工年	過去調査以前の補修の有無	過去の調査				過去調査から現在までの補修		2003年調査		
					調査年度	経過年数	判定	コメント	有無	補修年度	経過年数	判定	コメント
A9901	比布大橋	橋梁下部構造(P2)	1958	無	1999	41	4	-	補修無し	-	45	4	-
B9902	新城大橋	橋梁下部構造	1941	無	1999	58	4	-	補修無し	-	62	4	-
C9903	新島居橋	橋梁下部構造	1973	無	1999	26	4	-	補修無し	-	30	3	-
C9904	豊原橋橋台	橋梁下部構造	1980	無	1999	19	4	-	補修無し	-	23	4	-
D8503	蛭川水門	左岸側堰柱	1973	有:不明	1985	12	4	10mmひび割れ1部・・・2ひび割れ注入	補修有り	2000	30	4	-
D8504	新潟大堰	橋台	1970	無	1985	15	2	ひび割れ注入	改修	1991	33	9	改修済み
D8506	海老ヶ瀬IC橋	橋脚	1975	無	1985	10	4	-	補修無し	-	28	4	-
D8507	新潟大橋	橋台	1977	無	1985	8	4	-	補修無し	-	26	4	-
D8508	横尾大橋	橋台	1969	無	1985	16	4	-	補修無し	-	34	4	-
D8509	加治大橋	橋脚	1962	無	1985	23	4	-	補修有り	不明	41	6	-
D8510	取上橋	A1橋台	1968	有:不明	1985	17	4	簡易な補修済み	補修無し	-	35	4	-
D8511	城所跨線橋	橋台	1974	無	1985	11	4	-	補修無し	-	29	4	-
D8512	切手橋	橋台	1969	無	1985	16	4	-	補修無し	-	34	4	-
D8513	堀の内大橋	A1橋台	1963	無	1985	22	6	モルタル補修	補修無し	-	40	6	アル骨かどうかは分からない。表面モルタルは割れ
D8514	姫川大橋	橋台、橋脚	1966	無	1985	19	4	-	補修無し	-	37	4	-
D9905	新井郷川橋(上)下部工	橋梁下部構造	1985	無	1999	14	4	-	補修無し	-	18	4	-
D9906	地久子橋 下部工	橋梁下部構造	1970	有:1991	1999	29	4	-	補強有り	2000	33	4	-
D9907	寺島橋 下部工	橋梁下部構造	1971	有:1990	1999	28	2	ひび割れ注入	-	不明	32	9	現存せず
D9908	女池	擁壁	1973	無	1999	26	2	ひび割れ注入	補修無し	-	30	4	-
D9909	江尻高架橋取付擁壁	擁壁	1974	無	1999	25	2	ひび割れ注入	補修無し	-	29	2	-
E8518	吉ヶ原橋	A2橋台側辺擁壁	1967	無	1985	18	4	-	補修無し	-	36	4	-
E8536	境高架橋	橋脚	1970	無	1985	15	4	アル骨が疑わしい	補修有り	1988	33	4	-
F8537	堺高架橋	P23橋脚柱部	1974	有:不明	1985	11	4	-	補強有り	1997	29	3	-
F8539	姫路バイパス(三宅5号橋)	P120橋脚柱部	1974	無	1985	11	2	3mm以上ひび割れ注入	補修有り	1994	29	2	-
F8540	永峰流路工	11号床固左岸部	1979	無	1985	6	4	-	補修無し	-	24	4	-
F8542	浜手バイパス	P71橋脚柱部	1979	無	1985	6	2	ひび割れ注入	補強有り	不明	24	4	-
F8801	PC単純合成桁	橋脚	不明	有:1984	1988	-	7	-	-	-	-	7	-
F9910	岩崎7517跨道橋	橋梁下部構造	1964	無	1999	35	2	ひび割れ注入	補修無し	-	39	4	-
G8552	地御前跨線橋	橋台	1972	無	1985	13	2	跨線橋なので	補修有り	不明	31	4	-
G8553	観音高架橋	P24橋脚	不明	無	1985	-	4	-	補強有り	不明	-	8	全面鋼板
G8802	PC橋(8@15.0+58.5m)	橋脚	1973	有:1984	1988	15	4	-	補修無し	-	30	3	-
G9911	束谷橋(下り)	橋梁下部構造	1977	有:1997	1999	22	4	アル骨が疑わしい	補修無し	-	26	4	-
G9912	国道29号擁壁	擁壁	1964	無	1999	35	2	たたき点検、ひび割れ注入	補修有り	2000	39	4	-
G9913	国道9号擁壁	擁壁	1973	無	1999	26	4	-	補修有り	2000	30	4	-
G9914	国道53号擁壁	擁壁	1982	無	1999	17	4	たたき点検+経過観察	補修無し	-	21	4	-
H8554	川津高架橋	A1橋台、P14橋脚	1975	有:1985	1985	10	4	-	補修有り	2002	28	4	-
H8555	新本津川橋	A2橋台	1973	無	1985	12	2	ひび割れ注入	補修有り	1986	30	4	-

推移のパターン(過去調査→補修有無→現況調査)

- ①補修必要→補修実施→補修必要 ⑥補修必要→現存せず ⑩経過観察→その他
 ②補修必要→補修未実施→補修必要 ⑦経過観察→補修実施→補修必要 ⑪経過観察→現存せず
 ③補修必要→補修実施→経過観察 ⑧経過観察→補修未実施→補修必要 ⑫その他→その他
 ④補修必要→補修未実施→経過観察 ⑨経過観察→補修実施→経過観察 ⑬経過観察→補修実施→補修検討
 ⑤経過観察→補修未実施→経過観察 ⑩経過観察→補修未実施→補修検討

パターン	判定の推移についての理由推定	補修や改修を実施した理由の推定
⑩	全体的な写真より判定に変更無し(劣化部写真無し)	
⑩	ひび割れの状態に変化が見られないため、判定に変更無し	
⑮	ひび割れ幅が大きいもの、浮きがあるものは部分補修が必要	
⑩	ひび割れの状態に変化が見られないため、判定に変更無し	
⑨	補修後に目立った劣化が見られないため、判定に変更無し	補修時期:2000 堰柱上面、側面にひび割れ多数。最大幅10mm。
⑥	改修済み	改修時期:1991 全体的にひび割れ有り。最大ひび割れ幅は0.85mm程度。ひび割れ幅の増大により改修か?
⑩	ひび割れは若干増えているが、幅は小さいため判定に変更無し	
⑩	ひび割れは若干増えているが、幅は小さいため判定に変更無し	
⑩	ひび割れは若干増えているが、幅は小さいため判定に変更無し	
⑪	ひび割れがASRではないと推定	補修時期不明 梁全面にクラック多数。幅は小さい。
⑩	ひび割れは若干増えているが、幅は小さいため判定に変更無し	
⑩	ひび割れは増えているが、幅は小さいため判定に変更無し	
⑩	ひび割れは若干増えているが、幅は小さいため判定に変更無し	
⑬	当初からアル骨によるひび割れでないと判定。構造物として補修が必要。	
⑩	数多くひび割れは見られるが、開きは見られないため。	
⑩	ひび割れは若干増えているが、幅は小さいため判定に変更無し	
⑨	ひび割れの状態に変化が見られないため、判定に変更無し	橋脚補修時期:2000 耐震補強 橋台は1991以来補修無し
⑥	現存せず	資料よりひび割れの数が多く、幅も広いものが見られたため、対策実施
④	ひび割れがあるため、予防保全として安全側の評価を行ったが、進展が見られないため、経過観察	
②	ひび割れが大きいので、判定に変更無し	
⑩	ひび割れ幅に変化がみられないため、判定に変更無し	
⑨	ひび割れ幅がさほど大きくないため、判定に変更無し	補修時期:1986 上下線一体型の橋脚で片側のみ供用。供用していない方のコンクリート表面には汚れ(ペーストのはがれ)やひび割れが見られたため補修か。
⑭	補修後にひび割れが主鉄筋方向に入っているため、検討必要	下部補修時期:1984 柱補強時期:1997 1985調査以前に行われた補修原因は不明。補強は耐震補強
①	梁に補修を行っているが、1985年のひび割れ位置とほぼ同じ箇所まで再びひび割れが発生している。よって補修必要と判定。	梁補修時期:1994 柱補強時期:1994 梁下面でアル骨によるひび割れ多数有り。柱はアル骨のひび割れに加えて耐震補強と推定
⑩	ひび割れに進展が見られないため、判定に変更無し	
③	耐震補強が実施されたため、現状では経過観察。	耐震補強目的と推定
⑬	情報不足	情報不足
④	予防保全として補修必要と判定したが、4年間でひび割れ幅に変化がみられないことから経過観察	
③	補修効果有り? 多少ひび割れが見られるが、数が少ないため経過観察	補修時期不明 橋台全体にアル骨によるクラック多数。跨線橋であり剥落等による第三者被害の影響が大きいことが補修理由か
⑤	鋼板にて補強実施	耐震補強目的と推定
⑮	1985年時点で補修が実施された。1988年時は健全。現在は補修箇所劣化の進行が見られる。	
⑩	進展が見られないため、経過観察	
③	ひび割れが全体に広がり、また、剥落箇所も受けられる一擁壁のやり替え実施。	補修時期:2000 ひび割れや剥落箇所多数あり。道路に面している擁壁であるため、第三者被害も考慮して補修か
⑨	補修後に目立った劣化が見られないため、判定に変更無し	補修時期:2000 道路に面した擁壁。ガードレール基礎コンクリートが剥落している箇所有り。第三者被害を考慮して補修
⑩	ひび割れに進展が見られないため、判定に変更無し	
⑨	補修後に目立った劣化が見られないため、判定に変更無し	橋台補修時期:2002 過去調査時点ではひび割れ少なく、補修の必要性は感じない。現状の報告では橋台に多数のひび割れが確認できたと記載されている
③	ひび割れ注入による補修実施済み。補修後にひび割れが見られるが補修は現時点で必要としない	補修時期:1986 ひび割れ多数、最大ひび割れ幅3.0mm

表5-8 追跡調査結果一覧(2/2)

H9915	森松高架橋(上り・P3橋脚)	橋梁下部構造	1978	無	1999	21	2	最低ひび割れ注入、検討必要	-	-	25	7	資料無し
H9916	荻原改良工事 4号擁壁	擁壁	1981	無	1999	18	2	ひび割れ注入	補修無し	-	22	2	-
J9917	福岡橋	橋梁下部構造	1981	無	1999	18	4	-	補修無し	-	22	4	-
N8515	稲荷跨線橋	橋台、橋脚、擁壁	1966	無	1985	19	2	ひび割れ注入	補修無し	-	37	4	-
N8516	八幡橋	橋台	1965	無	1985	20	4	-	補修無し	-	38	4	モルタルはがれそうならたき点検
N8517	横越橋	P3橋脚(左岸側)	1972	無	1985	13	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	31	4	-
O8519	羽咋大橋	左岸側橋台親柱	1959	無	1985	26	4	-	-	-	44	9	現存せず
O8520	川原町跨線橋	橋脚	1972	無	1985	13	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	31	4	-
O8521	川尻橋	右岸橋台	1968	無	1985	17	4	-	-	-	35	9	現存せず
O8522	日詰橋	右岸橋台	1972	無	1985	13	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	31	2	-
O8523	米町川橋	右岸橋台、橋脚	1967	無	1985	18	4	-	補修無し	-	36	4	-
O8537	塚田橋	右岸橋台	1973	無	1985	12	4	-	補修有り	不明	30	4	-
O8538	宗下橋	左岸橋台	1966	無	1985	19	4	-	補修有り	不明	37	4	-
O8526	亀田田新橋	右岸橋台	1971	無	1985	14	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	32	4	-
O8527	本田橋	橋脚	1960	無	1985	25	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	43	4	-
O8528	剣地橋	左岸橋台	1966	無	1985	19	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	37	4	-
O8529	紅葉橋	右岸橋台	1970	無	1985	15	2	ひび割れ注入	補修無し	-	33	2	-
O8530	天神橋	右岸橋台	1959	無	1985	26	2	ひび割れ注入	-	-	44	9	現存せず
O8531	明治橋	右岸橋台	1961	無	1985	24	4	注入済みのため	補修無し	-	42	4	-
O8532	白湯橋	左岸側橋台	1960	無	1985	25	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	43	4	-
O8536	栄橋	左岸橋台	1968	無	1985	17	4	-	補修無し	-	35	4	-
O8533	川淵橋	右岸側橋台	1969	無	1985	16	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	34	2	-
O8534	八幡川橋	左岸側橋台、上部工	1960	無	1985	25	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	43	4	-
O8535	岡野大橋	右岸橋台	1967	無	1985	18	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	36	2	-
P8545	光上関線擁壁1	擁壁	1973	無	1985	12	2	ひび割れ注入	補修無し		31	7	現存せず
P8546	光上関線擁壁2	擁壁	1973	無	1985	12	2	ひび割れ注入	補修無し		31	7	現存せず
P8547	下松田布施線跨線橋	橋台	1973	無	1985	12	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	31	2	-
P8548	吉井川砂防ダム	砂防ダム	1977	無	1985	8	1	-	補修無し		27	1	-
P8549	柳井上関線防波堤	防波堤	1973	無	1985	12	1	-	補修無し		31	1	-
P8550	柳井上関線擁壁	擁壁	1973	無	1985	12	2	ひび割れ注入	補修有り	不明	31	1	-
P8551	由宇港水門	水門	1974	無	1985	11	1		補修無し		30	7	現存せず
P8552	祖生通津線擁壁	擁壁	1974	無	1985	11	2		補修無し		30	7	現存せず

⑤	情報不足	情報不足
②	ひび割れが大きいため、判定に変更無し	
⑩	ひび割れに進展が見られないため、判定に変更無し	
④	予防保全でひび割れ注入としたが、状態に変化なく、ひび割れ幅も小さいため経過観察。	
⑩	判定に変更無し	
③	補修効果有り	梁全面に多数のひび割れ発生。最大幅は1.0mm程度。
⑫	現存せず	橋脚は当時のままと考えられるため、橋台のみ作り直したと考えられる。理由は添架物や側道設置に伴う上部工の作り替え時において改築された？
③	柱：補修必要→耐震補強。梁：補修必要→補修実施→経過観察。	柱は耐震補強。梁は梁下の水みちで多くひび割れが出ていたため被覆したと推定
⑫	現存せず	劣化が著しく、作り直し？
①	補修効果無く、判定に変更無し	橋台側面にひび割れ多数。また、橋台受座に幅1.0cm程度のひび割れ有り
⑩	判定に変更無し	劣化の進展が見られない
⑨	補修後、ひび割れ無く、判定に変更無し	0.35mm以下のひび割れ多数
⑨	補修後、ひび割れ無く、判定に変更無し	ひび割れ数はさほど多くない。補修理由は不明
③	一部補修の跡が見られるが、ひび割れが進展しているため補修必要か(山口)	橋台バラベツ、壁壁全面にひび割れ多数。
③	補修後、ひび割れ無く、判定に変更無し	橋台側面にひび割れ多数。最大幅1.0mm。
③	補修後、若干ひび割れが見られるが、小さいため、経過観察	橋台前面、側面にひび割れ多数。最大幅1.2mm。
②	幅に変化はみられないが、外的因子の侵入防止として補修必要	
⑥	現存せず	路線変更のため？
⑩	ひび割れ幅に変化がみられないため、判定に変更無し	変化無し
③	補修後、ひび割れ無く、判定に変更無し	橋台前面にひび割れ多数。最大幅2.0mm。
⑩	ひび割れ幅に変化がみられないため、判定に変更無し	
①	補修効果無く、判定に変更無し	橋台前面、側面にひび割れ多数。最大幅0.5mm。河口にある構造物で潮の影響を受けやすい。
③	ASRIによる劣化は見られないが、外的因子の侵入防止のため補修必要か(山口)	橋台前面、側面、上部工にひび割れ多数。最大幅0.5mm。河口にある構造物で潮の影響を受けやすい。
①	補修効果無く、判定に変更無し	橋台前面、側面にひび割れ多数。最大幅8mm。河口にある構造物で潮の影響を受けやすい。
⑥	現存せず	道路に面した構造物であり、第三者被害を考慮？
⑥	現存せず	路線変更
①	補修効果無く、判定に変更無し	ひび割れが多数
⑩	劣化に進展が見られないため、判定に変更無し	
⑩	劣化に進展が見られないため、判定に変更無し	
③	補修後、ひび割れ無く、判定に変更無し	道路に面した構造物であり、第三者被害を考慮？
⑥	現存せず	美観配慮？
⑥	現存せず	美観配慮？

(3) 判定結果

判定結果の一覧を表 5-8 に示す。個別の劣化にはそれぞれ個性があるが、過去の調査での「補修必要」「経過観察」の判定と、その後の補修の実施経緯、2003 あるいは 2004 年時点での「補修必要」「経過観察」「補修検討」の判定をパターン分けし、その数を示すと以下ようになる。

(内、橋梁下部、擁壁)

①補修必要→補修実施→補修必要	5	(3, 0)
②補修必要→補修未実施→補修必要	3	(1, 2)
③補修必要→補修実施→経過観察	12	(10, 2)
④補修必要→補修未実施→経過観察	3	(2, 2)
⑤補修必要→ →その他	2	(2, 0)
⑥補修必要→ →現存せず	7	(3, 3)
⑦経過観察→補修実施→補修必要	0	
⑧経過観察→補修未実施→補修必要	0	
⑨経過観察→補修実施→経過観察	7	(5, 1)
⑩経過観察→補修未実施→経過観察	22	(17, 2)
⑪経過観察→ →その他	1	(1, 0)
⑫経過観察→ →現存せず	2	(2, 0)
⑬その他→ →その他	2	(2, 0)
⑭経過観察→補修実施→補修検討	1	(1, 0)
⑮経過観察→補修未実施→補修検討	2	(2, 0)

付録Ⅲに、⑩経過観察→補修未実施→経過観察、③補修必要→補修実施→経過観察、①補修必要→補修実施→補修必要、のそれぞれの構造物の事例の調査結果集計票を事例として掲載した。

過去調査時点、現時点における劣化度の判定結果を図 5-2 に示す。過去調査時点での調査結果に対しては、69 件中 37 件 (54%) を“経過観察”、30 件 (43%) を“補修必要”と判定した。その他 2 件は、アルカリ骨材反応かどうかの判定が困難、情報不足のため再調査が必要なものであった。一方、現時点調査結果に対する判定は、69 件中 44 件 (64%) が“経過観察”、8 件 (12%) が“補修必要”、9 件 (13%) が“現存せず”、残り 8 件はその他の評価であった。

過去の時点で「補修必要」と判断したもの 30 構造物のうち 17 構造物で補修が施されていた。そのうち③の 12 の構造物では、補修が効いたためか、あるいは過去の調査時点で既に劣化の進行がほぼ収束していたためかの理由は不明であるが、現時点での判定は「経過観察」となっている。その後補修を施したもののでも 5 構造物で、現時点での判定で再度「補修必要」となっているものがあるが、補修後に劣化が進んだものと、補修材そのものの劣化で補修効果が期待できないものの両方が含まれる。なお、④の「補修必要→補修未実施→経過観察」は、過去の時点でひび割れ幅がある程度大きく、予防保全的に補修をした方がよいと判断したものの、補修は施されず、その後の劣化の進行が全く認め

られないため、現時点で「経過観察」としたものである。いずれにしても、判断が可能であった 23 構造物の内、約 2/3 に相当する 15 構造物では劣化は進んでいないと考えられる。残りの約 1/3 では劣化が進んだか、補修が劣化した。

過去の時点で「経過観察」と判断したもの 37 構造物のうち現時点で「補修必要」と判断した構造物はひとつもなかった。ただし、3 構造物で「補修検討」としていて、場合によっては補修を施した方がよいかもしれないとしていて、判断を保留している。29 の構造物では、現時点でも「経過観察」としている。これらの中には、ひび割れが若干増えているように見えるものも少なくないが、大きく変化しているようなものはなかった。なお、この 29 構造物の内、7 構造物では補修が施されていた。

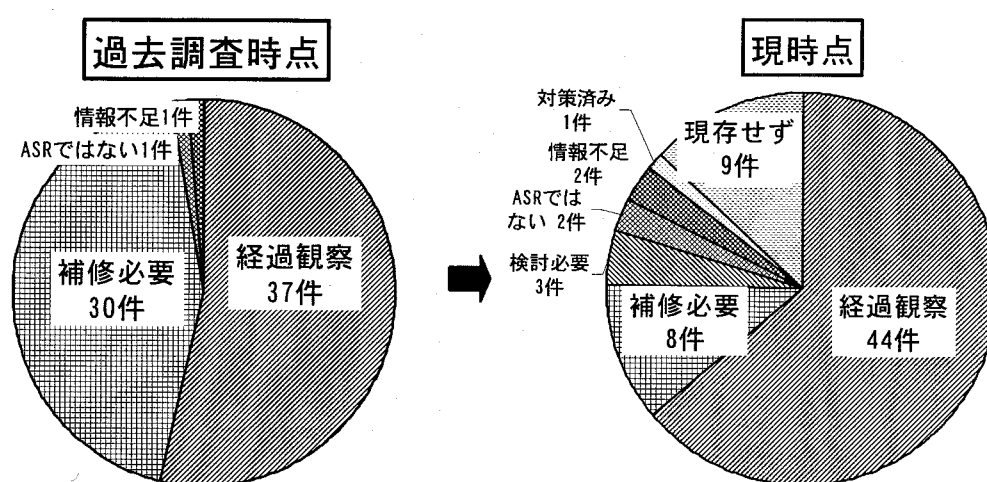


図 5-2 評価結果

現時点で現存しない構造物が 9 構造物あった。これは調査対象構造物数の 13% である。そのうち、7 構造物は過去の判定で「補修必要」としていたものである。撤去理由は必ずしも明確ではないが、撤去率は「補修必要」と判定されたものの方が高く、劣化が進行し撤去された可能性も否定できない。ただし、現地調査からは、明らかに路線の変更により撤去されたものもあった。

構造物の種類別に傾向を見たいところではあるが、圧倒的に数が多いのは橋梁下部工であり、擁壁が若干考察できる程度の数しかない。擁壁の特徴を見ると、①「補修必要」と判断されながら補修が施されない確率が橋梁より高い、②取り壊しが容易なためか、現存しないものの確率が高い、と言ったことが挙げられよう。

5-5 考察

(1) 劣化構造物のシナリオ

過去の時点で「補修必要」と判断した 30 構造物のうち、“現存せず”や“情報不足”等は省いた 23 構造物について、過去の調査時点での経過年数ごとの判定の分布を図 5-3 左に示す（竣工年が同じため、重なっている点が多い）。これらが現時点でどう判断されたかを、同じく経過年数ごとに図 5-3 右に示す。現時点で再度「補修必要」と判断された構造物の平均年齢は、「経過観察」としたものに比べて若干若い傾向がある。つまり、過去の調査時点では竣工後 20 年以下の経過年数のものも多く含まれていたが、若い構造物ほど劣化が進行過程にあったとも考えられる。残念ながら、この図からは「補修必要」と判断された構造物が、竣工後何年で「補修必要」のレベルの劣化まで到ったのかは不明である。

過去の時点で「経過観察」と判断した 37 構造物のうち、“現存せず”や“情報不足”等は省いた 32 構造物について、過去の調査時点での経過年数ごとの判定の分布を図 5-4 左に示す。現時点で「補修検討」と判断したものは、この図では「補修必要」に入れているが、この内 2 件は過去の調査時点の少し前に補修がされており、その結果「経過観察」と判断したものである。これらの構造物が現時点でどう判断されたかを、同じく経過年数ごとに図 5-4 右に示す。過去の調査時点で最も若い構造物は竣工後 6 年くらいであるが、過去の時点で「経過観察」と判断したものは、「補修検討」を除くと、1 件を例外として、その後ほとんど大きな劣化は見られないという結果になった。このことから、多くのアルカリ骨材反応により劣化を生じたコンクリート構造物では、数年というかなり早い段階で劣化進行が収束している可能性がある。

これらの結果を総合すると、アルカリ骨材反応による劣化構造物の劣化シナリオとして、少なくとも今回調査した構造物では以下のようなことが言える。

- ・ 調査対象の半分以上のコンクリート構造物では、アルカリ骨材反応による劣化が補修を必要とする段階に到らない内に、劣化進行が収束する。
- ・ 竣工後数年から 30 年程度経過して「補修必要」と判断された構造物でも、その後、約 2/3 の構造物では劣化は進んでいないと考えられる。ただし、これらは補修を施したものと、施していないものが混在しており、補修が効いたのか、劣化が補修時点で収束していたのかは不明である。残りの約 1/3 では劣化が進んだか、補修が劣化した。

(2) 補修・補強の効果

アルカリ骨材反応により劣化した構造物は、劣化が表面に顕在化した時点で、何らかの対策（補修または補強）が採られるが、その対策が適切であったか否かといった補修・補強の効果についての追跡調査はほとんど行われていない。そこで、現時点での評価が、“ASR ではない”、“情報不足”、“現存せず”を除く 56 件に対して、過去の補修履歴の有無と現時点での劣化度評価について整理した。なお、いずれも詳細な補修材料や補修時期は明確ではない場合が多かったため、正確な補修の効果に

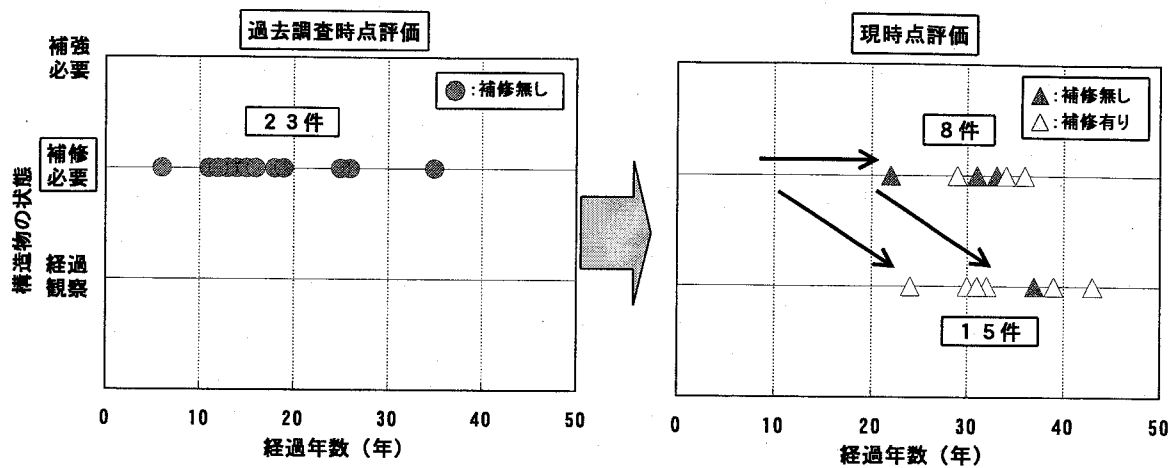


図 5-3 過去調査時点で“補修必要”と評価された構造物の劣化状態の推移

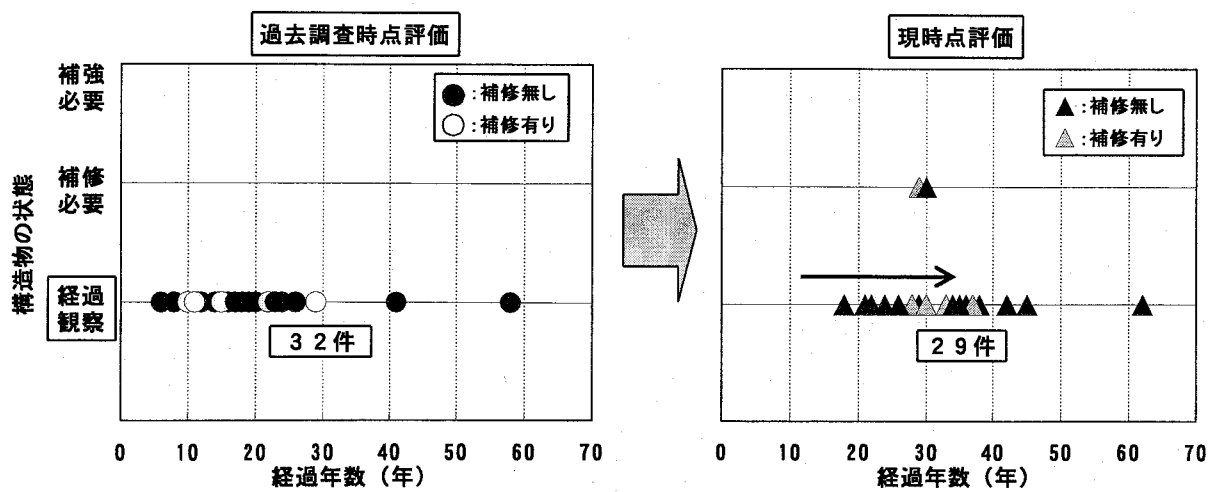


図 5-4 過去調査時点で“経過観察”と評価された構造物の劣化状態の推移

についての考察は困難であった。よって、目視調査による評価を基本にして、補修・補強の効果について考察を行った。

図 5-5 に過去の補修・補強履歴の有無に対する現時点での評価結果を示す。

(a) 過去に一度でも補修・補強が行われ、現存している構造物：29 件（52%）

29 件中 21 件(72%)の構造物は現時点で“経過観察”の判定であった。これらの補修時期は不明不明なものが多いが、竣工から 20 年以上経過したものが多く、おそらく膨張量が小さかった、もしくは膨張の収束段階で補修が行われたため、現時点で補修・補強の効果が継続しているものと思われる。一方、5 件(17%)の構造物は現時点で“補修必要”の判定であった。これらは、補修箇所が再劣化しており、健全性が保たれていない状態であった。これらの原因を判定するのはなかなか難しく、状況から推定するしかない。膨張の途中段階で補修をしたため、劣化が進んだと考えられるものもないわけではなかったが、明らかに補修材自体が劣化したと考えられるものが少なかった。特に、水分の供給の多いような場所では、補修材の浮きが生じ、さらにそれが剥がれたりしているものが少なかった。

(b) 過去に一度でも補修・補強を行っておらず、現存している構造物：27 件（48%）

27 件中 23 件(85%)の構造物が“経過観察”の判定であった。つまり、多くの構造物におけるアルカリ骨材反応の劣化は、補修・補強を行わなくても、対策を必要とする劣化状態までには至らずに膨張が収束するものと考えられる。一方、“補修必要”と判定されたものは 3 件(11%)であり、これらはひび割れ幅が広く、内部鋼材の腐食のおそれがあるため、ひび割れ注入等の対策が必要と判断したものであった。

以上を総合すると、補修・補強の効果は、構造物の置かれる環境条件、補修・補強時期に左右され、それが現時点で評価の分かれた原因と考えられる。しかし、今回の調査結果からは、残念ながら補修がアルカリ骨材反応の劣化促進を抑制する効果があるとも、ないとも言えない状況であった。

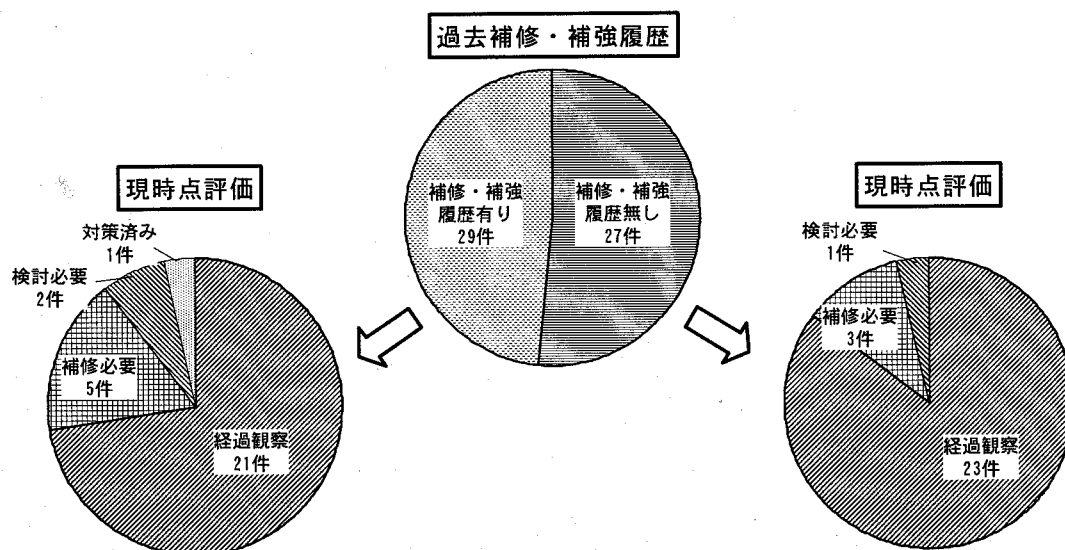


図 5-5 過去の補修・補強履歴の有無と現時点評価

5-6 まとめ

土木研究所で過去に行ったアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の実態調査の対象となった 69 構造物に対し、劣化進行の追跡調査を行った結果、次のことが判明した。

- ・ 構造物種類で最も数の多かったのは橋梁下部工である。次に多いのが擁壁であり、いくつかの河川構造物が続く。
- ・ 劣化が顕在化している箇所は、上部からの水の影響を受けやすい箇所が主であった。
- ・ 過去の調査時点で、すでに補修が実施されていた構造物は 9 件であった。
- ・ 2003 あるいは 2004 年時点までに 25 の構造物（前述の 9 件を含む）で補修がなされていた。
- ・ 半分以上のアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物では、補修を必要とする段階に到らない内に、劣化進行が収束する。
- ・ 竣工後数年～30 年の調査で「補修必要」と判断された構造物でも、その後、約 2/3 の構造物では劣化は進んでいない。ただし、これらは補修が効いたのか、劣化が補修時点で収束していたのかは不明である。残りの約 1/3 では劣化が進んだか、補修が劣化した。

【参考文献】

- 1) 建設省土木研究所：土木研究所資料 コンクリートの劣化実態調査報告(1)、1986.4
- 2) 建設省土木研究所：土木研究所彙報 コンクリート構造物の補修事例集、Vol.49、1988.11
- 3) 独立行政法人土木研究所：既存コンクリート構造物の健全度実態調査結果-1999 年調査結果- 2002.3

第6章 アルカリ骨材反応劣化構造物の劣化シナリオ

6-1 コンクリート構造物の劣化シナリオ

平成 11 年版の土木学会コンクリート標準示方書「施工編」で世界に先駆けて「耐久性照査法」が示された。これによって、コンクリート構造物の劣化を想定し、供用期間中にそれを回避する設計の考え方が示された。現在対象としている劣化原因は表 6-1 に示すものである。塩害と中性化に対しては、劣化の初期段階までに到らないような限界状態を設定して、定量的な耐久設計が可能となっている。

表6-1 コンクリート標準示方書の耐久性照査項目

◎中性化
◎塩化物イオンの浸透に伴う鋼材腐食
○凍結融解作用
化学的侵食
○アルカリ骨材反応
水密性
耐火性

◎定量的な照査が可能 ○照査が可能

この考え方を受けて、2002 年 3 月には道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編¹⁾が、1984 年に出版された「道路橋の塩害対策指針（案）」²⁾を大幅見直しをして組み込み、改訂された。そこでは、各地域の飛来塩分量やコンクリートの品質に応じた塩化物イオン拡散係数を考慮して耐用年数 100 年をメドに耐久設計を行い、それを基にして必要かぶり厚を示している。

一方、2001 年にコンクリート標準示方書「維持管理編」³⁾が制定された。そこにはコンクリート構造物の維持管理の基本的な考え方と、劣化曲線という概念が示された。ひとつひとつのコンクリート構造物の劣化を予測し、最適な維持管理をすることが基本的な理念である。構造物の一生を「シナリオ」として描くというような表現もされている。ちなみに、構造物のシナリオという表現は、ISO のライフサイクル評価などの規格の原案⁴⁾にも顔を出している。いずれにしても、構造物のシナリオを描いて維持管理を行うことの重要性が認識されてきている。

構造物の管理者も、種々の検討を始めている。例えば、道路構造物についてみると、これまでに建設されてきた道路資産は、道路の総延長は約116万kmで、橋梁数は約14万橋（道路統計年報2002）とされていて、今後の維持管理費の急増が懸念されている。このため、国土交通省道路局では、「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方」⁵⁾について2年間にわたり有識者による委員会を設け、検討を行った（筆者は事務局として参加）。検討の結果、2003 年 3 月に提言が示された。

この提言には「アセットマネジメント」という新しい概念が示されている。道路構造物を資産として捉え、その資産を有効に活用するという概念であるが、維持管理面から見ると、ひとつひとつの構

造物の維持管理もさることながら、構造物を群として捉え、限られた維持管理費の中で全体をどのように運用・活用していくかという観点が必要ながことが示されている。

コンクリート標準示方書「維持管理編」に示されたような「シナリオ」と、提言に示されたような「アセットマネジメント」の両方が機能して、全体としては合理的な維持管理が可能となる。両者の関係を図に示すと、図 6-1(a) のようになるのではないかと考える。

なお、「アセットマネジメント」の定義は未だ確定していない。例えば国土交通省を例にとると、工事事務所レベルでは、従来の対処療法的な維持管理を一步進め、予防保全を導入するようなものを呼んでいる場合もあり、一方本省レベルでは「行政経営」的な考え方を指している場合もある。それらの概念を図 6-1(b) に示す。左下へ行くほど個別の構造物を対象にしたハード対応の技術で、右上へ行くほど全体の構造物を対象にしたソフト対応の技術であるが、アセットマネジメントの概念の導入は、左下から右上へ移行するものであることは間違いない。

このように維持管理の大枠の概念の整理は、一部ではかなり進んできている。

しかしながら、具体的なシナリオの提言となると非常に難しいのが現状である。上記のコンクリート標準示方書「施工編」での「耐久性照査法」では、新設の構造物に対する設計を対象としていて、かつ、不確定な要素も含んでいるため、かなりの安全率をみこんでいるのが現状である。現に、塩害対策の環境条件などは平成 11 年版では、かなり安全側の設定となっていて、例えば海岸線の飛沫帯に設計寿命 100 年の PC 桁を造ろうとすると、かぶりの大きさが 20cm 以上というような非現実的な計算値も示されていた⁷⁾。道路橋示方書Ⅲの改訂では、土木研究所等で行った種々の調査結果⁶⁾ から現実に近い条件が示されている。さらに、設計段階では、「維持管理編」に示された劣化曲線の「潜伏期」までを対象とし、潜伏期直前を限界状態とした照査を行えばよい。しかし、維持管理を行う上で必要なシナリオはさらに劣化曲線の全体像が必要となる。

前述の国土交通省道路局「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方」委員会で塩害を対象とした将来予測を行う際にも劣化曲線を用いた。しかし、閾値以上の量の塩化物イオンが鉄筋表面に達した以降の経時的な劣化挙動は、委員等の勘に基づき設定した極めておおざっぱなものにならざるを得なかった。これは、その時点ではシナリオを設定するための十分なデータが確保できなかったからであ

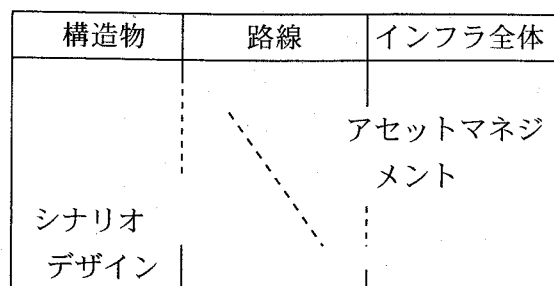


図6-1(a) 維持管理計画の中のアセットマネジメントとシナリオデザインの関係

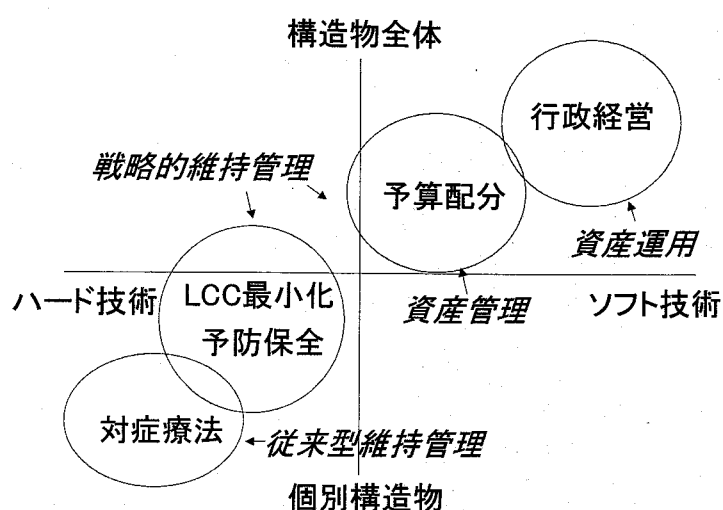


図6-1(b) アセットマネジメントの概念

る。とは言うものの、こうした検討は、塩害に対しては予防保全的な対応が極めて重要なことを示すには十分であったため、この提言を受けて、2003 年に道路橋に対して予防保全的な考えに基づく維持管理方針が道路局から出されている。

この章では、第3章から第5章までの検討結果をもとに、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物のシナリオの提案を試みる。このシナリオは、アルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の維持管理の戦略を立てるために極めて重要なものである。

そこでまず、これまで維持管理の検討が比較的早く進んでいた塩害について、再度シナリオの見直しを行う。次にアルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物のシナリオの検討を行う。さらに両者の比較を行うことで、維持管理計画作成への影響を考察する。これらの検討を行うことで、次章の維持管理の提言へつなげたい。

6-2 塩害コンクリート構造物にみる劣化シナリオ

表 6-2 は土木研究所等で調査した塩害を受けたプレストレストコンクリート橋（以下 PC 橋）のライフサイクルコストの算出結果⁸⁾である。橋梁①、③、④はいずれも秋田県から新潟県にかけての東北・北陸の日本海沿いに走る国道に位置した橋梁である。この国道では、これらの橋と同時代に建設されたポステン PC 橋は、大部分が著しい塩害を受けており、何らかの補修を行わなければ①、③、④と同程度、あるいはもっと短時間で架け替えを余儀なくされる状況にあった。②は九州の沿岸部に位置する国道橋である。

調査時点で、旧暮坪陸橋では2回の補修・補強がなされていたが、耐荷性の不足が懸念されたため廃橋にすることが決定しており、橋脚間に2本の間中橋脚を立てて供用されていた⁹⁾。その横に新橋が完成した時点で、土木研究所で載荷実験を行うこととした¹⁰⁾。載荷の準備をし、バントを取り外した時点で自重により PC 桁が破壊した。このような状態であったため、載荷実験時にはコンクリート標準示方書「維持管理編」の「塩害構造物の外観上のグレードと劣化の状態」（表 6-3）の劣化期にあったと考えられる。

ここで①②③④の橋梁について、供用年数を横軸に取り、「塩害構造物の外観上のグレードと劣化の状態」に対応した劣化状態を縦軸にして、グラフに書くと図 6-2 のようになると考える。なお、これらの橋梁では、補修補強は数年にわたって実施されていたり、劣化の程度が桁によって変わっていたり、補修時の劣化程度が必ずしも明確ではない^{10) 11)}。このため、あくまでも目安と言うことで、最初の補修時近辺を「進展期」、供用終了時を「劣化期」としている。また、土木研究所で行った塩害橋梁の補修効果に関する調査¹²⁾からは、ある程度劣化の進んだ PC 橋桁では、従来方法の補修を行ってもあまり塩害抑止効果が期待できず、数年で再劣化が起こることがわかっている。このことから、もし補修を行わなかった場合にはこのグラフが多少左へずれると考えられる。以上のことから、少なくともこの4橋については、劣化進行の過程は、図 6-2 の曲線で示すような範囲に入っていたと推定される。

もちろん、①、③、④は道路橋示方書Ⅲ「コンクリート橋編」の塩害対策区分で言えば、「地域区分 B」（北陸から北海道にかけての日本海側）の最も厳しい塩害地帯のひとつに位置し、しかも「対策区分 S」（海上部及び海岸から 100m まで）の塩分の影響が厳しいところに位置するので、これがわが国全体の塩害橋梁の劣化シナリオを代表するものとは言えない。しかし、現実には道路橋の維持管

表 6-2 著しい塩害を受けた PC 橋のライフサイクルコスト(初期建設費に対する比)

橋名 供用年数	上部工 構造形式	橋長 径間数	初期建設費 I	維持管理費 M	撤去費 R	総費用 I+M+R	調査時現況と主な 補修・補強回数
①旧暮坪陸橋 32 年	単 純 PC ポ ス テ ン T 桁	144m 5 径間	1.0	0.8	0.7	2.4	架替え済み 2 回(17、26 年目)
②小弥太郎橋 25 年		117m 4 径間	1.0	1.2	(1.0)	2.2	供用中 2 回(10、25 年目)
③旧岩川橋 34 年		337m 9 径間	1.0	0.5	未撤去	1.5+ α	旧橋撤去は後年 (16~28 年目)
④旧芦川橋 34 年		35m 1 径間	1.0	1.2	2.7	4.9	架替え事業中 2 回(14、30 年目)

注) 各費用は平成 12 年度価格に換算した値。初期建設費は下部工事費を含む。()は見積額。

出展：国土交通省道路局ほか：コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究、土木研究所資料 3811 号 2001.03

表 6-3 塩害構造物の外観上のグレードと劣化の状態（示方書維持管理編 解説 表 14.3.4）

構造物の外観上のグレード	劣化の状態
状態Ⅰ-1（潜伏期）	外観上の変状が見られない，腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
状態Ⅰ-2（進展期）	外観上の変状が見られない，腐食発生限界塩化物イオン濃度以上、腐食が開始
状態Ⅱ-1（加速期前期）	腐食ひび割れ発生，錆汁が見られる
状態Ⅱ-2（加速期後期）	腐食ひび割れが多数発生，錆汁が見られる，部分的なはく離・はく落が見られる，腐食量の増大
状態Ⅲ（劣化期）	腐食ひび割れが多数発生，ひび割れ幅が大きい，錆汁が見られる 部分的なはく離・はく落が見られる，変位・たわみが大きい

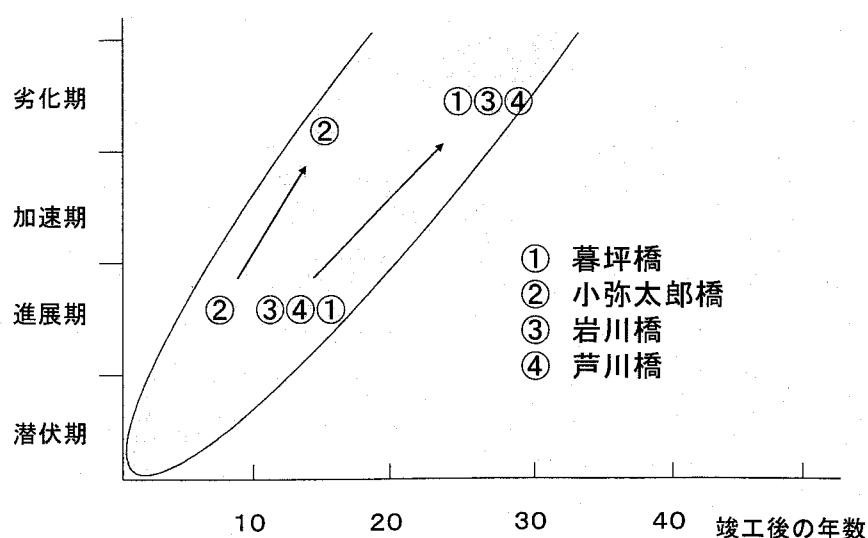


図6-2 塩害橋の劣化進行

理上問題となっている地域は、沖縄県と北陸以北の日本海側に集中しているため、全国的なアセットマネジメントを考える際には、実務的には「塩害橋梁の劣化シナリオを代表するもののひとつ」として取り扱ってよいと考える。

なお、これらの橋梁でも全ての桁が同様に劣化しているわけではなく、最も劣化の早い桁が問題となって架け替えが行われている。逆に、同様の地域でさらに供用後短期間で架け替えした河口堰（新潟、信濃川河口）のプレテン PC 桁の例もある¹³⁾が、若干特殊である。

以上を総括すると、図 6-2 は 1984 年の「コンクリート道路橋の塩害対策指針（案）」以前に、塩害の非常に厳しい地域に作られた道路橋の塩害劣化シナリオの代表的なものと考えて差し支えないと考える。

6-3 わが国のアルカリ骨材反応コンクリート構造物の劣化シナリオ

コンクリート標準示方書維持管理編では、アルカリ骨材反応によるコンクリート膨張過程は膨張状態Ⅰa（潜伏期）、膨張状態Ⅰb（進展期）、膨張状態Ⅱ（収束期）、膨張状態Ⅲ（終了期）の4段階に区別され、表6-4のように定義されている。

表6-4 アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張量状態の定義（示方書維持管理編 17.2.1 解説）

膨張状態	説明
膨張状態Ⅰa （潜伏期）	ASR そのものは進行するものの、膨張がまだ顕著に表れない時期。コンクリートが持っている潜在的な膨張能力は最も大きい時期であり、残存膨張量は最大を示す。なお、場合によっては、Ⅰaを経ずに当初からⅠbの状態になることがある。
膨張状態Ⅰb （進展期）	ASR による膨張が顕著に表れ、膨張速度は最大を示す時期であって、残存膨張量はまだ大きい
膨張状態Ⅱ （収束期）	ASR そのものはほぼ収束し、ASR による膨張の速度が低下し、収束に向かう時期であって、残存膨張量は小さい。
膨張状態Ⅲ （終了期）	ASR による膨張も収束し、残存膨張量がほぼ0となる時期

このコンクリートの膨張過程と構造物の劣化過程は同一ではない。これは、例えば、コンクリートの膨張能力が小さい場合には、膨張過程の収束期や終了期に到っても、構造物の劣化にはつながらない場合があるためである。このため、アルカリ骨材反応に起因する膨張によるコンクリート構造物の劣化進行の過程および期間を決定する要因は表 6-5 のように示されている。

表6-5に示される「潜伏期」「進展期」「加速期」「劣化期」に関しては、具体的な定量的な判定基準は示されていない。[維持管理編]の策定資料¹⁴⁾には若干の定量的試験データに基づく判定の例が示されているが、対象とした構造物が「進展期」であるという総合判定は定量的な判断に基づくものではない。

さて、本論文の第3章から第5章で多くのアルカリ骨材反応で劣化したコンクリート構造物の状況を見てきた。1986年以降の建造物でアルカリ骨材反応を生じた構造物がほとんどないため、かなりの率の構造物で外見的な劣化の進展は止まっているように見える。しかもそれらの内、かなりの部分

表6-5 構造物の各劣化期間の定義（示方書維持管理編 解説 表 17.2.1）

劣化過程	定義	期間を決定する要因
潜伏期	ASR そのものは進行するものの膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生しない段階	ASR ゲルの生成速度 （反応鉱物の種類とその量、アルカリ量）
進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し、ひび割れが発生する段階	ASR ゲルの吸水膨張速度 （水分とアルカリの供給）
加速期	ASR による膨張が顕著に表れ、膨張速度が最大を示す段階で、ひび割れが進展する段階	ASR ゲルの吸水膨張速度 （水分とアルカリの供給）
劣化期	ひび割れ密度が増大し、鋼材腐食が進行するとともに、コンクリートの強度低下および鋼材の損傷により部材としての耐荷力に影響を与える時期	ASR ゲルの吸水膨張速度 （水分とアルカリの供給） 鋼材の腐食速度 鋼材の引張応力度増加率

が補修を必ずしも必要としないレベルにあると考えられる。このようなコンクリート構造物では、その内部のコンクリートについて、表6-4のコンクリートの膨張量状態を当てはめると、膨張状態Ⅱ（収束期）あるいは、膨張状態Ⅲ（終了期）にあると推察される。ところが、表6-5の構造物の各劣化期間の定義に当てはめてみると、必ずしも、ぴったりと当てはまるものがないと考える。

前節で見た塩害により劣化したコンクリート構造物では、劣化の推移が表 6-3 の塩害構造物の外観上のグレードと劣化の状態（示方書維持管理編 解説 表 14.3.4）の「潜伏期」「進展期」「加速期」「劣化期」に比較的好く一致していた。ところが、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物では、同様には一致させることができない。この原因を考察してみる。

塩害では、劣化が生じた構造物では、劣化が確実に進んでいく。もちろん時間的な差は出るものの、最終的には鉄筋の破断を生じて耐荷力を失う。鉄筋の状態と、構造物の外見、耐荷力が比較的好く関連している。ところが、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物では、コンクリートの絶対的な膨張量により構造物の状態が大きく異なる。コンクリートの膨張量が小さければ、多少のひび割れは出るものの、ほとんど目立たないものもある。コンクリートの膨張量が大きなものでは、極端な場合、鉄筋の破断をもたらすこともある。コンクリートの膨張量そのものは、表6-4のコンクリートの膨張量状態をたどるものの、構造物は「潜伏期」「進展期」「加速期」「劣化期」を必ずしもたどらないのである。言い方を変えると、一部の構造物では、「潜伏期」「進展期」「加速期」「劣化期」をたどるが、大部分の構造物では「進展期」あるいは「加速期」程度の劣化で止まるのである。この場合、「進展期」「加速期」という用語は、必ずしも適切ではない。

このような前提で、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物に対して、図 6-2 に示した「塩害橋の劣化進行」に相当する劣化シナリオを検討してみる。「潜伏期」「進展期」「加速期」「劣化期」という区分けは必ずしも適切ではないので、第4章で判定基準に用いた、「経過観察」「補修検討」「補修必要」「補強検討」という軸で検討してみる。

図 4-5 に示した全国のアルカリ骨材反応で劣化を生じた道路橋部材数の年代別の集計を見してみる。まず、1981 年からアルカリ骨材反応抑制通達の出た 1986 年までの竣工の橋梁では 1/4 弱が 2003 時点

で、「補修必要」あるいは「補修検討」と判定され、残りは「経過観察」であった。1971 年～ 1980 年竣工の橋梁では 2 割弱が 2003 時点で、「補修必要」あるいは「補修検討」と判定され、残りは「経過観察」であった。1961 年～ 1970 年竣工の橋梁では「補修必要」あるいは「補修検討」と判定された割合は、もう少し減っている。判定の際に、同じ外見なら新しいものほど厳しめの判定を行っていることを考慮すると、「補修必要」あるいは「補修検討」の橋梁の割合は、ほとんど変化していないと考えられる。つまり、20 年以上経過した橋梁では、實際上、ほとんどの構造物でアルカリ骨材反応の進行は極めて少ないことが推測できる。

もちろん、これは全国を見た場合で、図 4-3 に示した地域別、あるいは図 4-4 に示した部材別では若干異なる可能性はある。逆に言うと、近畿などでは「補修必要」あるいは「補修検討」の率が高いが、他の地域では、「経過観察」の率が更に高いとも言える。

わが国で、アルカリ骨材反応で劣化したコンクリート構造物の劣化進行を継続的に調査している例としては、旧建設省近畿地方整備局の例¹⁶⁾や阪神高速道路公団の例^{16) 17)}がある。いずれも近畿地区にある。

前者の調査では、1973 年に着工され、1979 年に部分供用が開始された橋脚で、1983 年にアルカリ骨材反応によるひび割れが発見された。このため、塗装による補修を施し、1984 年から各種の追跡調査を行っている。この時の補修のため、図 4-7 の「アルカリ骨材反応に対する補修が行われた橋梁数」でも、図 4-8 の「アルカリ骨材反応に対する補修が行われた部材数」でも、近畿の既補修率は高くなっている。1990 年時点での報告によると、ひび割れ幅は年と共にほぼ線形に増大していたことが報告されている。この時点での、構造物の材齢は 15~17 年程度であると考えられる。

後者の調査では、長いもので竣工後 25 年までのひび割れ幅の経時変化が計測されている。そこでは、「ひび割れ幅は各橋脚に顕著に現れたものを対象としているため、測定箇所数は橋脚によって違う（3~10 箇所）ため平均値を示す。また、調査開始時を基準としているので、実際のひび割れ幅とは一致しないが、顕著なひび割れが発生している橋脚ではその経時変化も著しい傾向が窺える。また、大部分の橋脚では測定期間内において、平均値で見たひび割れの進展速度に大きな変化は見られない。」としている。しかしながら、示された「ひび割れ幅の経時変化」の図を見ると、明らかに大きな伸び速度を維持しているいくつかの橋脚が見られる一方、多くの橋脚では時間とともに伸び速度は明らかに低下しているように見える。特に、15 年以上を経過しても、伸び速度の大きな橋脚の数は限られているようである。

図 4-3 に示した地域別の劣化状況では、近畿で「補修必要」あるいは「補修検討」の率が高く、若干特異ではあるが、そこでも阪神高速道路公団の調査事例で見られるように、「顕著なひび割れが発生している橋脚」を除けば、大部分は竣工後 20 年も経てば、ひび割れの進展速度がかなり小さくなる傾向が見て取れる。多くの地域では、近畿ほどは「補修必要」あるいは「補修検討」の率が高くなく、近畿と同様の傾向にあるとすると、より高い確率で竣工後 20 年も経てば、ひび割れの進展速度がかなり小さくなると言えるのではないかと考える。

これらの結果をもとに、塩害に対する劣化進行を示す図 6-2 に相当する図をわが国のアルカリ骨材反応に対しても画いてみると図 6-3 のようになると考える。このような図は過去には示されたことはなく、今後のアルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の維持管理方針を立てる際には極めて重要なものとなると考える。

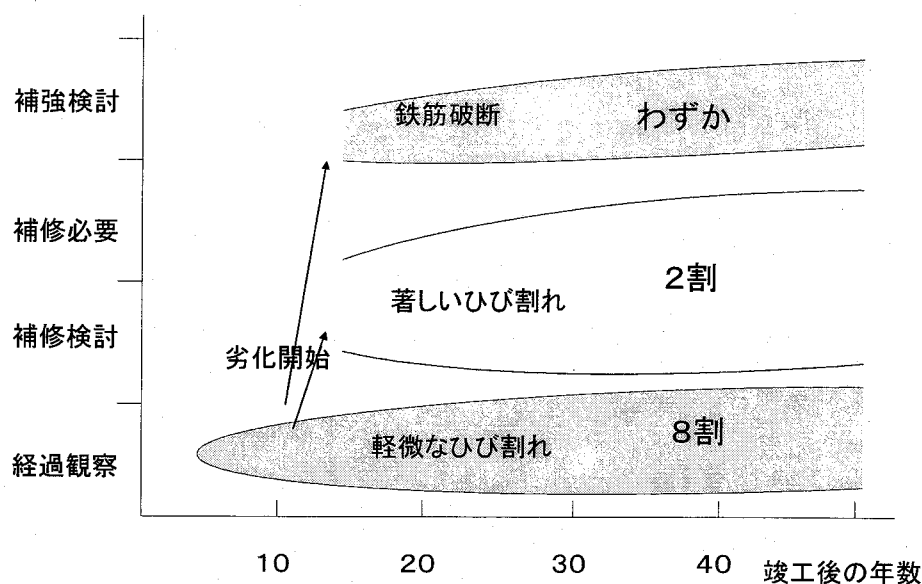


図6-3 アルカリ骨材反応で劣化したコンクリート構造物の劣化進行

この際に、補修を行ったか否かがその後の経過に大きく影響するようであると、図 6-3 も大きく見直す必要がある。図 4-9 に示した補修未実施の事例と図 4-10 に示した補修実施済みの事例を比較して補強の影響を見てみる。図 4-10 の補修実施済みの部材は、もともと劣化がある程度進んでいた確率が高い。また、「経過観察」というのが、補修が効いていて塗装表面に新たなひび割れが出ていない状況なのか、もともとの劣化の程度がそれほど大きくなかったのかは、収集した写真だけではなかなか判断できなかった。もし、図 4-10 における「補修必要」が、仮に劣化が進行したものとしてみると、その数は 1961-1970 竣工のものではわずかであり、1971-1980 で全アルカリ骨材反応劣化部材数の 5 %、1981-1986 で 20%である。この 1981-1986 で 20%という数値は、竣工後約 20 年経過であることを考えると、図 6-3 と大きく逸脱しない。実際には、補修した事例の少なからぬ部材でアルカリ骨材反応の進行と言うよりも塗膜自体の劣化のみが生じていたと推察される例があったこと等を考慮すると、20 年以上を経過した構造物では、図 6-3 の太破線と中破線の領域を移動する量はそれほど多くないのではないかと推察される。このことは第 5 章で見た追跡調査でも証明されていると考える。すなわち、追跡調査でも調査対象の半分以上のコンクリート構造物では、アルカリ骨材反応による劣化が補修を必要とする段階に到らない内に、劣化進行が収束することが観察され、竣工後数年から 30 年程度経過して「補修必要」と判断された構造物でも、その後、約 2/3 の構造物では劣化は進んでいないと考えられる。

これまでの議論は、第 4 章で圧倒的に数の多かった橋梁下部工での議論である。橋梁上部工では、上記のシナリオとは異なる可能性がある。しかし、図 4-4 に示すように、道路橋の橋梁上部工の劣化事例は少なく、しかもそれらのほとんどは「経過観察」であるため、これらのデータのみからは橋梁上部工のアルカリ骨材反応劣化シナリオは画くことは難しい。ただ、図 4-4 から言えることは、道路橋では橋梁上部工のアルカリ骨材反応による劣化は事例が少なく、発生しても直ちに深刻な劣化につながることは少ないようであるということである。

橋梁以外の構造物に関しては、今回の第 3 章から第 5 章の調査では、構造物の種類による劣化シナリオの特徴を引き出すような十分な考察ができるようなデータ数がない。しかし、第 5 章(5-4)で見

たように、擁壁に関しては橋梁下部工と大きく異なる傾向を示すことは少ないのではないかと考えられる。いずれにしても、第3章と第5章の調査結果からも橋梁下部工で圧倒的多数の劣化事例が見つかったので、橋梁下部工での対策検討を最優先することによってよいと考える。

さらに、環境の違いによる影響も明確にしたいところではあるが、これに関するデータの収集と解析は大変に難しく、今回の調査では解析するに到っていない。今後の課題としたい。

構造物の管理者にとっては、構造物自体の劣化対策も重要ではあるが、第3者被害を防止するという観点も重要である。今回の第4章と第5章の調査では、「補修必要」と判断した構造物の中には、例えば跨線橋等では、厳しめの判定をしている。このため、構造物自体の劣化と第3者被害防止の観点の評価が厳密には区別ができていないところもある。本来は厳密に区別すべきであるが、もともとの調査の目的が現場での維持補修の対応を決定するところに主眼があったので、これも今後の課題としたい。

第4章の調査のきっかけとなった鉄筋の破断に関しては、第3章から第5章の調査では新たな事例が抽出できなかった。逆に言うと、今のところ鉄筋の破断は、全体からみるとかなり特異な事例と考えてよさそうである。鉄筋の破断に到る確率はかなり低いようであるし、図6-3の「アルカリ骨材反応で劣化したコンクリート構造物の劣化進行」のような、一般的な劣化シナリオを想定して統計的に対応するよりは、個別の対応をしていった方が実務的であると考ええる。

アルカリ骨材反応によるひび割れからの鉄筋腐食は、維持管理上非常に懸念されているものである。ところが、今回の調査では、表4-3に示したように、かなり大きなひび割れが生じていても腐食していないか軽微な腐食にとどまっているものが多い。この原因に関しては十分な検討が必要ではあるが、劣化シナリオとしては、アルカリ骨材反応によるひび割れが生じたあと、塩害のように急速に鉄筋が腐食するというシナリオを画く必要はないようである。

さて、図6-3の推定が正しく、わが国のアルカリ骨材反応で劣化したコンクリート構造物の劣化進行が実質上20年程度でほぼ進行しない状況にあるとなると、コンクリート標準示方書〔維持管理編〕解説表17.2.1に示された「構造物の各劣化期間の定義」（表6-5）に則り、言い替えれば、時間の経過とともに「潜伏期」～「劣化期」へ移行するモデルにより、維持管理計画を立てることは必ずしも適切ではない可能性が出てくる。そこで、次章では図6-3を前提としたアルカリ骨材反応で劣化したコンクリート構造物の維持管理のあり方について考察する。

6-4 補修したアルカリ骨材反応コンクリート構造物のシナリオ

第4章と第5章では補修した構造物も調査の対象となっていた。しかしながら、補修に期待した効果があったのか、補修材の劣化が補修材自体の劣化なのか、コンクリートの劣化進展によるものなのか等が明らかにはできなかった。さらには、調査の対象となった補修方法や補修材が耐久性総プロ¹⁸⁾などに示された古いタイプのものが多かったこと等も考慮すると、今後の補修構造物の劣化シナリオをこれらのデータから決定することは必ずしも適当ではないと考える。

なお、比較的新しい過去の研究結果などを見ても、補修の効果については「効果あり」とするもの¹⁹⁾と「効果なし」とするもの²⁰⁾のがあり、補修構造物の劣化シナリオの詳細な検討は今後の大きな課題のひとつと考える。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」2002年3月
- 2) 日本道路協会：「道路橋の塩害対策指針（案）」1984年
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書「維持管理編」2001年
- 4) 例えば ISO / DIS 1586-6 Building and constructed assets - Service life planning
/ Part 6: Guidelines for considering environmental impacts (2002 draft)
- 5) 国土交通省道路局：「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方」2003年3月
(<http://www.mlit.go.jp/road/current/kouzou/index.html>)
- 6) 土木学会：コンクリートライブラリー 99「平成11年版コンクリート標準示方書〔施工編〕
－耐久性照査型－改訂資料」、p.27、2000.01
- 7) 河野広隆他：ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書（Ⅲ）
－ PC 橋の塩害対策に関する検討－ 共同研究報告書 第270号 2001.03
- 8) 河野広隆他：コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究
－コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査－ 土研資料 第3811号 2001.03
- 9) 建設省東北地方建設局酒田工事事務所：「温海地区塩害橋調査報告書」1995.03
- 10) 河野広隆他：塩害を受けた PC 橋の耐荷力評価に関する研究（Ⅱ）
－旧暮坪陸橋の載荷実験－土研資料 3809 2001.03
- 11) 河野広隆他：塩害を受けた PC 橋の耐荷力評価に関する研究（Ⅳ）
－旧芦川橋の載荷実験－ 土研資料 3816 2001.03
- 12) 渡辺博志ほか：「コンクリート構造物の補修時期選定について」、第20回道路会議論文集 1993.10
- 13) 河野広隆他：塩害を受けた PC 橋の耐荷力評価に関する研究（Ⅰ）
－プレテンション PC 桁の載荷試験－ 土研資料 3808 2001.03
- 14) 土木学会：コンクリートライブラリー 104「2001年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕
策定資料」、p.78-82、2001.01
- 15) 道路保全技術センター：「浜手バイパス・宿院高架橋におけるアルカリ骨材反応の対策方法に関する検討業務」報告書、2002.03
- 16) 松本茂他：「ASRにより劣化した構造物の維持管理の現状と今後」阪神高速道路公団第35回技術
研究発表会論文集
- 17) 松本茂他：「ASR 損傷を受けた橋脚の追跡点検事例」コンクリートの耐久性データベースフォー
マットに関するシンポジウム論文集、pp.27-32、 2002.12
- 18) 建設省：総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書 1986.06
- 19) 松本茂他：アルカリ骨材反応表面保護工の長期追跡点検結果報告、コンクリート構造物の補修、補
強、アップグレード論文報告集 第2巻 p.29 2003.10 日本材料学会
- 20) 濱田秀則他：アルカリ骨材反応が発生したコンクリートに対する表面被覆の適用性に関する実験
的研究、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集 第3巻 p.37 2003.10 日本
材料学会

第7章 アルカリ骨材反応劣化構造物の維持管理の 考え方と提言

7-1 過去のアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の維持管理

わが国でアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の維持管理の維持管理を最初に体系づけたのは、阪神高速道路公団であろう。図 7-1 は同公団の「アルカリ骨材反応に対するコンクリート構造物の管理指針（暫定案）」（昭和60年）に示された調査フロー¹⁾である。ここで、「調査対象構造物」となるのは「PC構造物では0.2mm以上のひび割れ総延長が20m、RC構造物では0.3mm以上のひび割れ総延長が30m以上のもの」と「局部的に大きな変状の見られるもの」である。これ以下のものについては、通常の維持管理が行われる。「調査対象構造物」となると、原則的にはコアを取って調査が行われ、アルカリ骨材反応と判断されても、されなくとも何らかの補修補強を施すことになっている。

図 7-2 は建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書（昭和 63 年）²⁾に示された、土木構造物に対するアルカリ骨材反応の調査フローである。「全体」、「劣化原因の判定」、「骨材の特定」、「劣化度判定、劣化進行推定、補修の要否判定のための資料収集」という目的別にフローが異なっている。上記の阪神高速道路公団の調査フローと大きく異なるのは、「劣化原因の判定」、「劣化度判定、劣化進行推定、補修の要否判定のための資料収集」に必ずしもコア採取による調査を含まなくてもよいことである。目視調査と簡便な現地非破壊調査、はつり調査などから原因を特定することも可としている。さらに、コアを採取した場合、あるいは骨材の調査を行った場合に依じてアルカリ骨材反応であるかどうかの判定を点数化している。

なお、同じ建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」²⁾でも建築系の構造物に対する調査では、若干異なった対応している。「2.5 詳細な調査の要否の判定」の項では、「劣化の程度が軽微であり、かつ劣化症状の原因がアルカリ骨材反応以外の原因によることが明らかになった場合には、この指針による調査・診断は引き続いて行わない」としており、基本的にはアルカリ骨材反応の疑いのあるものに対しては、「3.2 現地調査」で、①外観目視調査、②はつり調査、③コア採取、を行う流れになっている。

1989 年には日本コンクリート工学協会の「アルカリ骨材反応調査研究委員会報告書」³⁾が出されている。この報告書には「5.6 アルカリ骨材反応による損傷を受けたコンクリート構造物の診断、補修ガイドライン（案）」が示されている。この案では、アルカリ骨材反応の疑いのある構造物に対し、

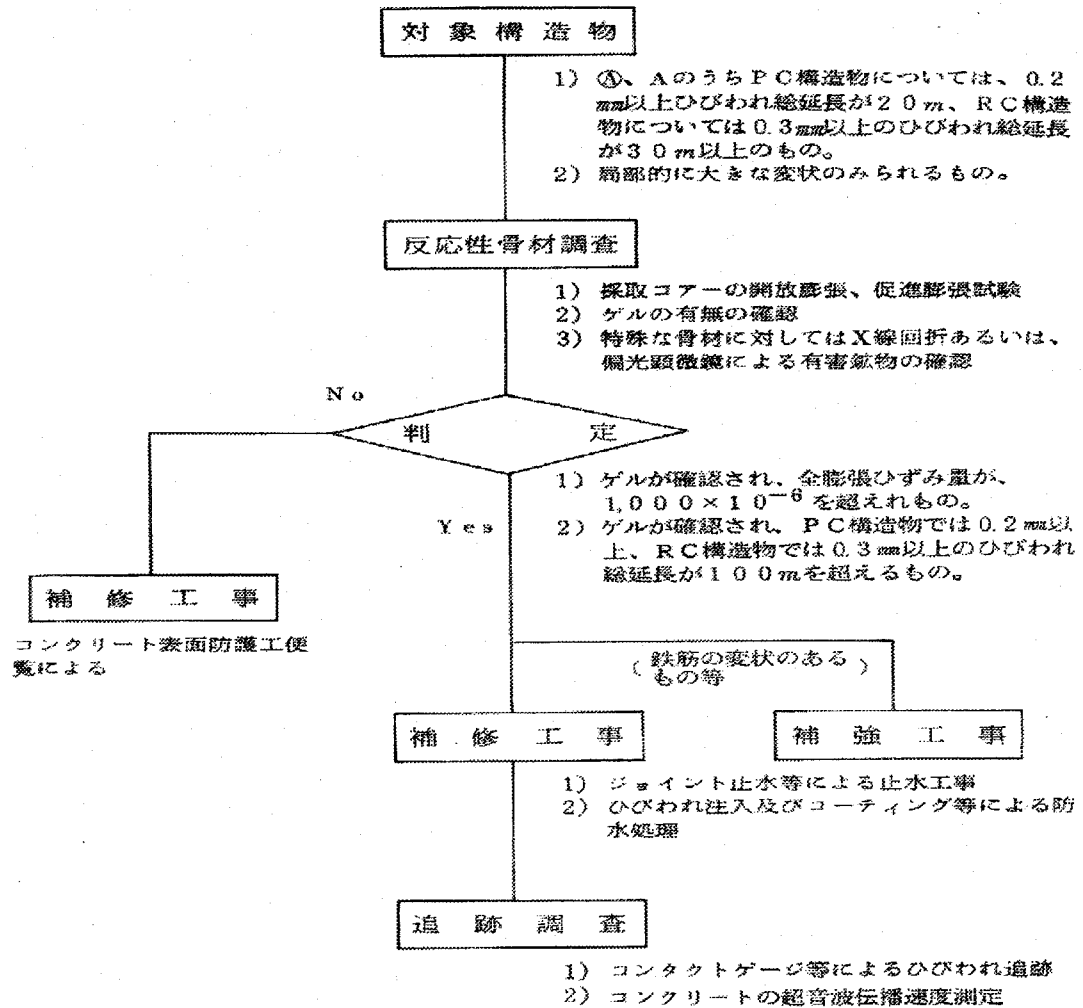
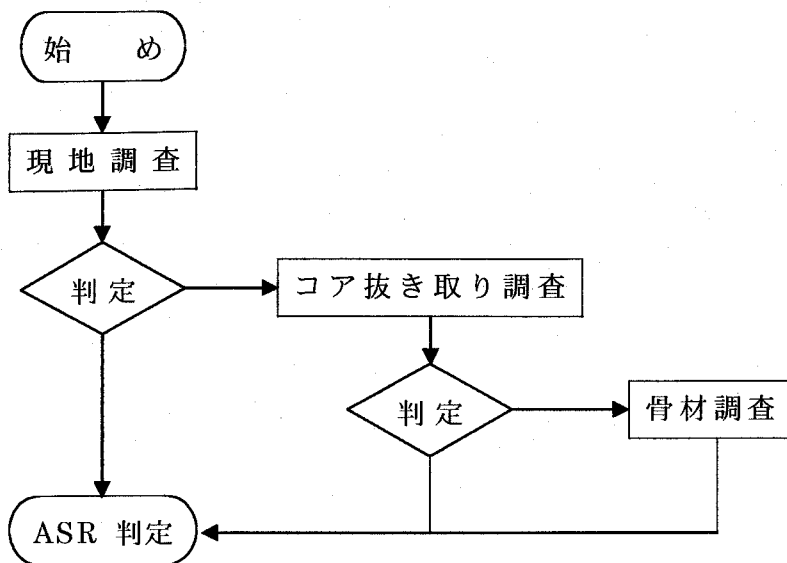
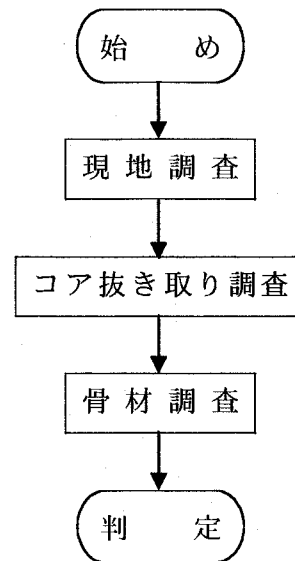


図 7-1 阪神高速道路公団「アルカリ骨材反応に対するコンクリート構造物の管理指針（暫定案）」におけるフロー

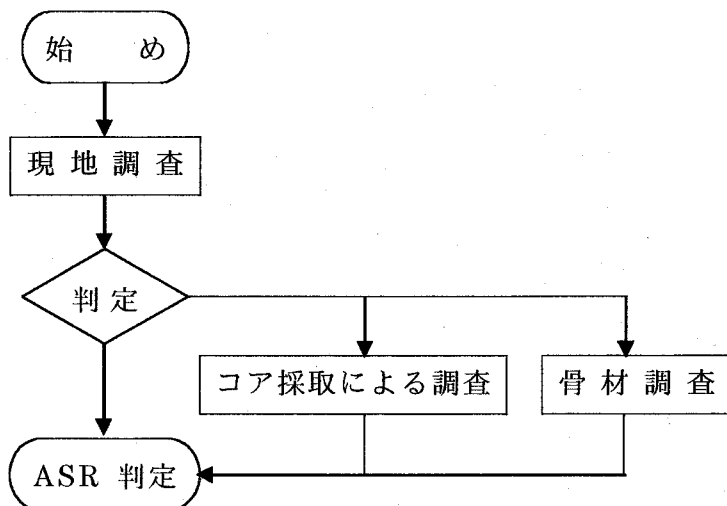
○全体フロー



○骨材の特定



○劣化原因の判定



○劣化度判定、劣化進行推定、補修の要否判定のための資料収集

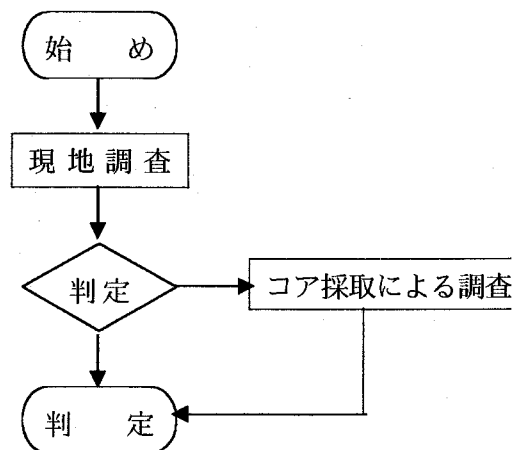


図 7-2 建設省総プロ「コンクリートの耐久性向上技術の開発」に示されたアルカリ骨材反応劣化構造物調査フロー

まず概略調査を行い、原因を特定することを勧めている。概略調査で原因を特定できない場合には詳細調査を行うことにしている。ところが、概略調査は「概略」とは言うものの、文献などによる予備調査から始まって、外観調査からコア採取までの現地調査、コアのゲル観察から膨張量試験までの室内試験が含まれていて、この時点でかなり詳細な調査となっている。もちろん、これらを全部行わなければならないとは言っていないが、かなりの量の調査を行うことを推奨している。さらに詳細調査では、各種の非破壊試験、ひび割れの経時変化観測、構造物の現場載荷試験、採取コアのゲル確認、骨材の粉末X線回折、偏光顕微鏡観察、化学法、モルタルバー法、セメントの分析、コア物性試験、実物と同じ材料による膨張試験、等を列挙している。これらは、どう見ても現場の構造物管理者を対象にしたものではなく、研究者向けのものであると考える。

その後出された多くの書籍⁴⁾では、ある程度の独自色は出してはいるものの、基本的には阪神高速道路公団の調査フローをもとにした、あるいは類似の流れによる判定を示している。

現在最新の情報を掲載し、かつ、最も信頼性が高いと考えられるコンクリート構造物の診断関係の図書として、日本コンクリート工学協会の「コンクリート診断技術04」⁵⁾がある。そこではアルカリ骨材反応の「劣化機構および劣化原因の確認」の節で、「①骨材中にある限量以上の反応生成物（シリカ鋳物）が存在する、②コンクリートの水溶液の水酸化イオン(OH)の濃度がある値以上となる、③コンクリートの内部の湿度がある値以上となる」条件が認められた場合に、アルカリシリカ反応の判定を行うとしている。これらの条件はアルカリ骨材反応の発生メカニズムから類推すると正しいが、現実にはこれらの条件の確認を現場の構造物で、研究調査ではない通常の維持管理で行うことは非常に難しく、非現実的な判定条件である。別の項の「現状の評価」では外見の「兆候を日常点検により把握することが必要である」と現実的な対応を示しながらも、「採取したコアによる調査を行うのが望ましい」と付け加えている。

2001年制定土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕⁶⁾では、第一部「維持管理」解説表 8.2.1 に「劣化機構に基づく点検方法の選択基準」が示されている。アルカリ骨材反応に関して、「劣化の程度にかかわらず重要なデータが得られる」項目の◎が付いているのは、目視、打音法、反発硬度法、コア試験（外観、ひび割れ深さ、強度、弾性率、アルカリ量分析、骨材の反応性、膨張量測定）、超音波法、である。その他にも多くの項目に○がついている。ここまでは、従来の図書と類似しており、役に立ちそうな試験を羅列している。しかし、第二部の維持管理標準では表 7-1 に示すように、劣化の進行に応じて点検項目を変化させており、この標準は現場でもかなり対応可能なレベルに近づいているように思われる。「日常点検」「定期点検」「詳細点検」のそれぞれの段階でどのような点検が推

表 7-1 アルカリ骨材反応に対する点検項目の標準 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕解説表 17.3.1

劣化過程	外観の変状	骨材の反応性	残存膨張量	鋼材の腐食	コンクリート強度	耐荷性	劣化外力	モニタリング
潜伏期	◎	○	△	△	△	△	◎	△
進展期	◎	○	○	△	○	△	◎	△
加速期	◎	○	◎	○	◎	○	◎	○
劣化期	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	○

◎：必ず実施する項目、○：実施が望ましい項目、△：必要に応じて実施する項目

奨されているかを見ると、「日常点検」では基本的には外観の点検でよしとしていて、「定期点検」ではそれに加えて必要に応じてひび割れ進展と膨張挙動のモニタリングを実施する必要があるとしている。「詳細点検」ではやはり外観調査に加えて、コア強度、コアの残存膨張量、骨材の反応性を試験し資料を得るものとしていて、これは従来の対応と基本的には変わらない。さらに、「構造物に使用されているものと同配合、同条件で作製されたコンクリートの促進養生環境下におけるひび割れの発生および膨張量」を測定し、コンクリートのアルカリ骨材反応に対する抵抗性を判定する、必要に応じて載荷試験を行い構造物あるいは部材の耐荷力および剛性について調査しなければならないとしている。現実の構造物でこのような調査ができるものは、極めて限られていると考える。なお、「詳細点検」の節の解説に表 7-2 があり、構造物の外観と劣化の状態の区分けが示されているが、取り扱いが不明で、これをもって点検に替えてよいとしているわけではないようである。

表 7-2 構造物の外観上のグレードと劣化の状態 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕解説表 17.3.4

構造物の外観上のグレード	劣化の状態
I (潜伏期)	ASR は発生しているが、外観上の変状が見られない。
II (進展期)	ASR による膨張によってひび割れが発生し、変色、ゲルの滲出が見られる。
III (加速期)	ASR によるひび割れが進展し、ひび割れの本数、幅および密度が増大する。
IV (劣化期)	ASR によるひび割れが多数発生し、構造物に段差、ずれなどが見られる。かぶりの部分的なはく離・はく落が発生する。鋼材腐食が進行し、錆汁が見られる。変位・変形が大きい。

著者が関連したアルカリ骨材反応劣化構造物の技術相談では、多くの現場で、関連図書を参考にし調査計画が立てられ、コア調査、特にコアの膨張量試験や岩種判定など岩石調査を主体とした多くの試験メニューが実施されていた。しかし残念なことに、それらの試験結果は、うまく行っても「この構造物はアルカリ骨材反応である」から「この構造物は間違いなくアルカリ骨材反応である」という確証を与えるにとどまっていた、その後の対応に有効に活用されてる例は極めて少なかった。場合によっては、外見は明らかにアルカリ骨材反応であるのに、コアが膨張しない等、各種試験からは明らかな兆候が伺えない場合さえあった。それでも現実の対応としては、「アルカリ骨材反応である」とした対応を取らざるを得ない。これは、例えば、明らかに痛風の痛みで来院した患者に対し、各種の綿密な血液検査や関連しそうな検査を行ったが、結局、尿酸値はそれほど高くなったものの、痛風の治療を施すようなものである。

このため、2003 年に筆者らが執筆した「非破壊検査を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル」⁷⁾では、以下で述べる「維持管理の考え方と提言」の一部を先取りし、「アルカリ骨材反応が疑われる構造物の詳細調査は、通常は目視調査のみでよい」とした。そして、特別な目的があるときにのみ、コアの膨張量試験を行うことを勧めている。

また、2003.03 に道路局から出された「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」⁸⁾は現在、道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理の標準となりつつある。この作成にも筆者は参画しているが、そこでも以下で述べる「維持管理の考え方と提言」の一部を先取りし、図 7-3 に示すように、基本的には外観調査でアルカリ骨材反応かどうかを判定することにしている。

では、何故に過去に上述したような過剰とも言える対応が生じてしまったのであろうか。

まず、阪神高速道路公団の「アルカリ骨材反応に対するコンクリート構造物の管理指針(暫定案)」が作成された当時は、わが国ではアルカリ骨材反応に対する知識がほとんどない状態の時であった。比較的少ない構造物で問題が生じていたと認識されていて、現場での日常の維持管理の調査がそのままアルカリ骨材反応の研究のための調査に直結していたと考えられる。その傾向を如実に示すのが、前述した日本コンクリート工学協会の「アルカリ骨材反応調査研究委員会報告書」³⁾の「5.6 アルカリ骨材反応による損傷を受けたコンクリート構造物の診断、補修ガイドライン(案)」である。その後、アルカリ骨材反応は全国で見られる、それほど特殊な劣化ではないことが認識されたが、研究や調査の難しさから新たな系統だった検討がなされていないのが現状である。このため、従来の方法をそのまま継承する状況が続いたのではないかと推察する。悪く言えば、「よく分からないから、とにかくいろいろ調べてみては」という状態である。現場では、アルカリ骨材反応関係の図書を見て、そこにリストアップされている試験項目を、試験の目的を十分に認識することもなく、外注することが多かったように思われる。

次に、アセットマネジメントの考えがなかったことも原因のひとつにあげられよう。維持管理で行う試験の頻度がそれほど多くない時点では、一構造物の調査費用が多少高くても問題が少ない。そのまま行けば、劣化した構造物が増えるに従い維持管理費の中で調査費用が占める割合は比例的に大きくなる。そのような場合には、調査の費用とそれがもたらす効果、調査を行わなかった場合のリスクを検討しなければならない。筆者の経験からは、塩害のように発生する区域がある程度限定され、その中での塩害の発生率が相当に高く、しかも劣化発見後の補修費用が膨大でかつ補修効果があまり期待できないため予防保全が重要な場合には、調査の「効果/費用」は大きい。しかし、アルカリ骨材反応では、前述したように種々の調査結果が有効に活用されている例は極めて少ない。

以上のようなことを考慮すると、少なくとも現状では、研究のための綿密な調査と、構造物の維持管理業務の一環として行う調査は分けて考えるべきであると思う。

それでは、アルカリ骨材反応劣化構造物に対し、どのような維持管理の対応が合理的であるかについて、以下に考察する。

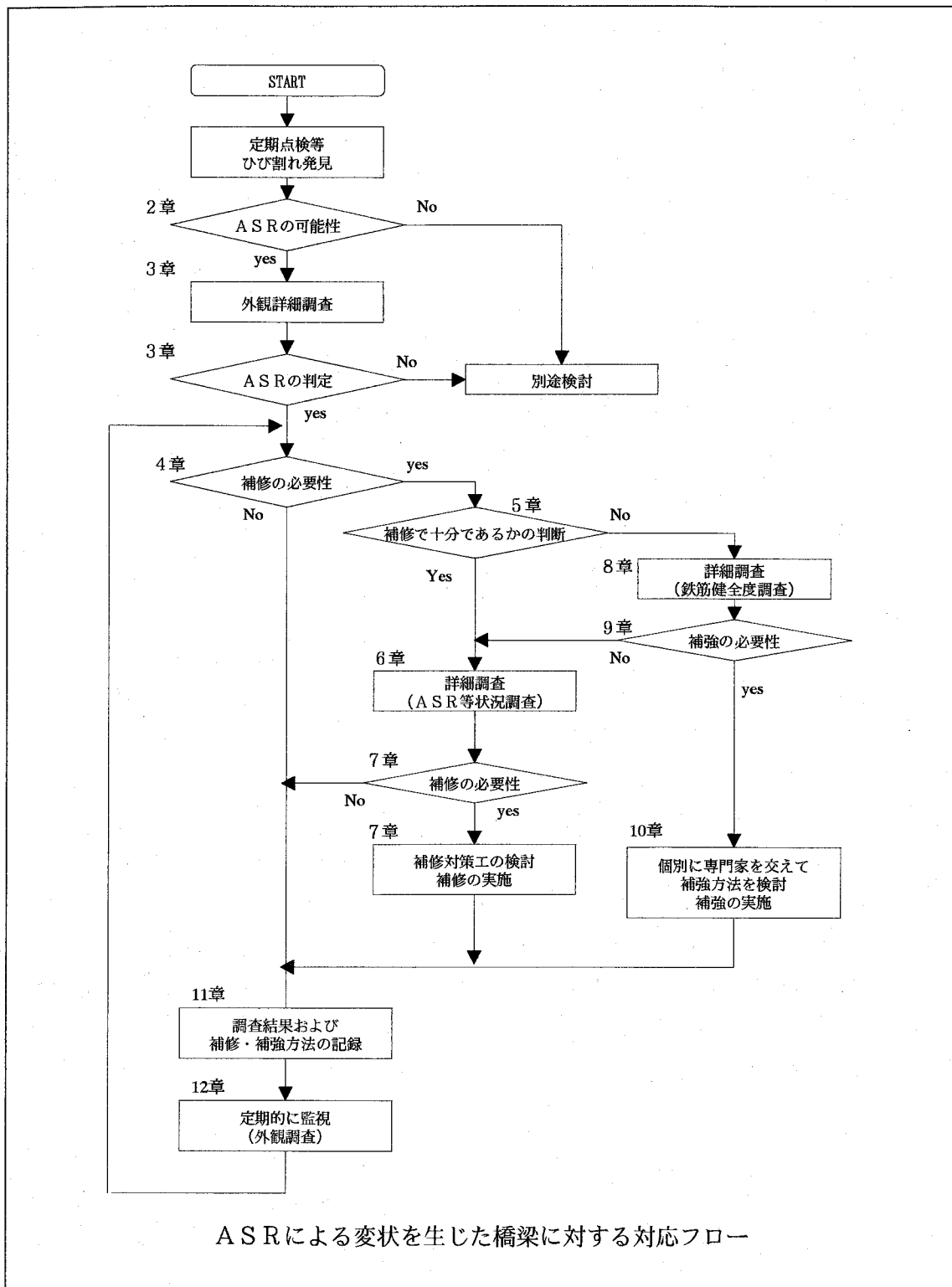


図 7-3 「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領（案）」（道路局 2003.03）の
対応フロー

7-2 わが国のアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の点検・維持管理のポイント

第3章から第5章までの調査結果と、第6章での劣化シナリオの考察、および前節の状況から、わが国のアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物を合理的に維持管理する上で、考慮すべきポイントが見えてくる。それをまとめると以下のようになる。

- ① 1986 以降のコンクリート構造物に対しては、アルカリ骨材反応の抑制対策が効果を上げている。つまり、維持管理の対象となる構造物はほとんどが竣工20年以上のものである。
- ② 多くのアルカリ骨材反応劣化構造物の劣化曲線は図 6-3 に示すように、図 6-2 に示した塩害のような急激な劣化の進行が生じることはなく、穏やかに劣化が進むか、既に劣化が収束している。
- ③ アルカリ骨材反応劣化構造物のうち、約8割は補修が必要な段階までは到らず、構造的には問題ないレベルで、劣化が停止している。
- ④ 劣化の進行に対し、水の供給は非常に重要な役割を果たす。
- ⑤ 現状では、アルカリ骨材反応の劣化進行を確実に抑制する補修方法はない。過去に多用された表面塗布による補修は、その効果がありそうなものもあるが、ないとしか考えられないものも多く、全体としての効果は不明である。
- ⑥ 表 4-3 に示したようにかなり大きなひび割れがあっても鉄筋の腐食は予想以上に小さい。つまり、ひび割れからの鉄筋腐食は急速には進まない。
- ⑦ その一方で非常に限られた数の構造物ではあるが、コンクリートの膨張による鉄筋破断という深刻な状況に到っている。
- ⑧ 現在行われている各種の詳細調査の試験は、結果の実務への反映が難しく、「効果／費用」が小さい。

これらを考慮して、実際の現場で行うアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の点検・維持管理のポイントをキーワード的に示すと、表 7-3 のようになると考える。以下の節で、それぞれについて具体の考え方を示す。

表 7-3 アルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の点検・維持管理のポイント

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">① 「予防保全」よりは「事後対応」② 「目視」による原因推定と劣化度判定が実用的③ 水の供給を絶つことが先決④ 幅広いひび割れのある構造物の鉄筋破断は要注意 |
|---|

7-3 わが国のアルカリ骨材反応構造物に対する基本的な維持管理の考え方

第3章から第5章までの調査や、筆者のこれまでの経験から、劣化コンクリート構造物の維持管理の基本的な考え方は、基本的には「塩害」と「それ以外」に分類できるのではないかと考える。いくつかの要素を表7-4に示す。

表7-4 劣化コンクリート構造物の維持管理の基本的な方向と影響要因

	塩 害	塩害以外の劣化原因
劣化の速度	速い	緩やか
発生地域・発生構造物	限定	限定しづらい
事後対処（補修）の効果	小さい	大きい あるいは もともと効かない
詳細調査の「効果／費用」	大きい	小さい
基本的な方向	予防保全	対処療法

塩害は第6章の6-2でも考察したように、劣化の速度が速い。また、基本的には塩害地域の橋梁上部工などに発生場所が限られる。地域を限ると、そこでは現実にかかなりの確率で塩害が生じているし、新設構造物でもいずれ将来は劣化が生じる確率が高い。また、一度劣化が表面化すると、その後の補修は効果が薄く、膨大な費用がかかる。これらの理由で、塩害には基本的には対処することが必要である。さらに、予防保全を前提とした詳細調査については、発生地域が限定されるため調査対象構造物が絞り込める、塩分浸透状況を把握できれば劣化の進行をかなりの精度で予測できる、等ため、詳細調査の「効果／費用」が大きい。この時の「効果／費用」を大略見てみる。例えば、表6-2で示した塩害が進行した4つの橋では、補修を主体とした維持管理費が初期建設費と同程度必要となっている。しかも寿命は補修を行っても30年程度である。もし、塩分浸透が軽度の段階で表面塗装などで以降の塩分浸透を抑制すれば、補修費は概略1桁少なくなる。5年に一度の塩分浸透量の調査は初期建設費の1/1000のオーダーなので、たとえ表面塗装の塗り替えが10年に1度必要だとしても、表6-2の撤去費用と架替え橋の初期コストに相当する分の経費が低減されることになる。調査費用が小さいため、調査対象構造物を実際に塩害が進行する構造物の10倍の数に広げたとしても予防保全の優位性は変わらない。

このようなことから、国土交通省道路局では2004年春に「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案）」⁹⁾を出して、全国の塩害地域の道路橋に対し「予防保全」を前提とした対応を指示している。筆者はこの要領（案）の作成を担当した。図7-4に塩害点検のフローを示す。塩害は主に上部工で問題となる。塩害で「予防保全」を行うためにはコンクリート中への塩化物イオンの浸透状況を把握する必要がある。現状では塩化物イオンの浸透状況を調べるのに、有効な非破壊検査法はなく、コアを抜いて調べる以外に良い方法はない。いくら「予防保全」を行うからと言って、構造的な影響を考えると、上部工から頻繁にコアを抜くわけにはいかない。このため、下部工で小径コアやドリル粉を用いた塩化物イオンの浸透状況の把握を行い、その結果をもって架設地点の塩害環境を把握し、上部工の塩化物イオン浸透のシミュレーションを行う。この結果、近い将来に上部工で塩化物イオンの浸透が深刻な状況に到ることが予想される場合には、劣化の兆しが見えなくても「予防保全」を行

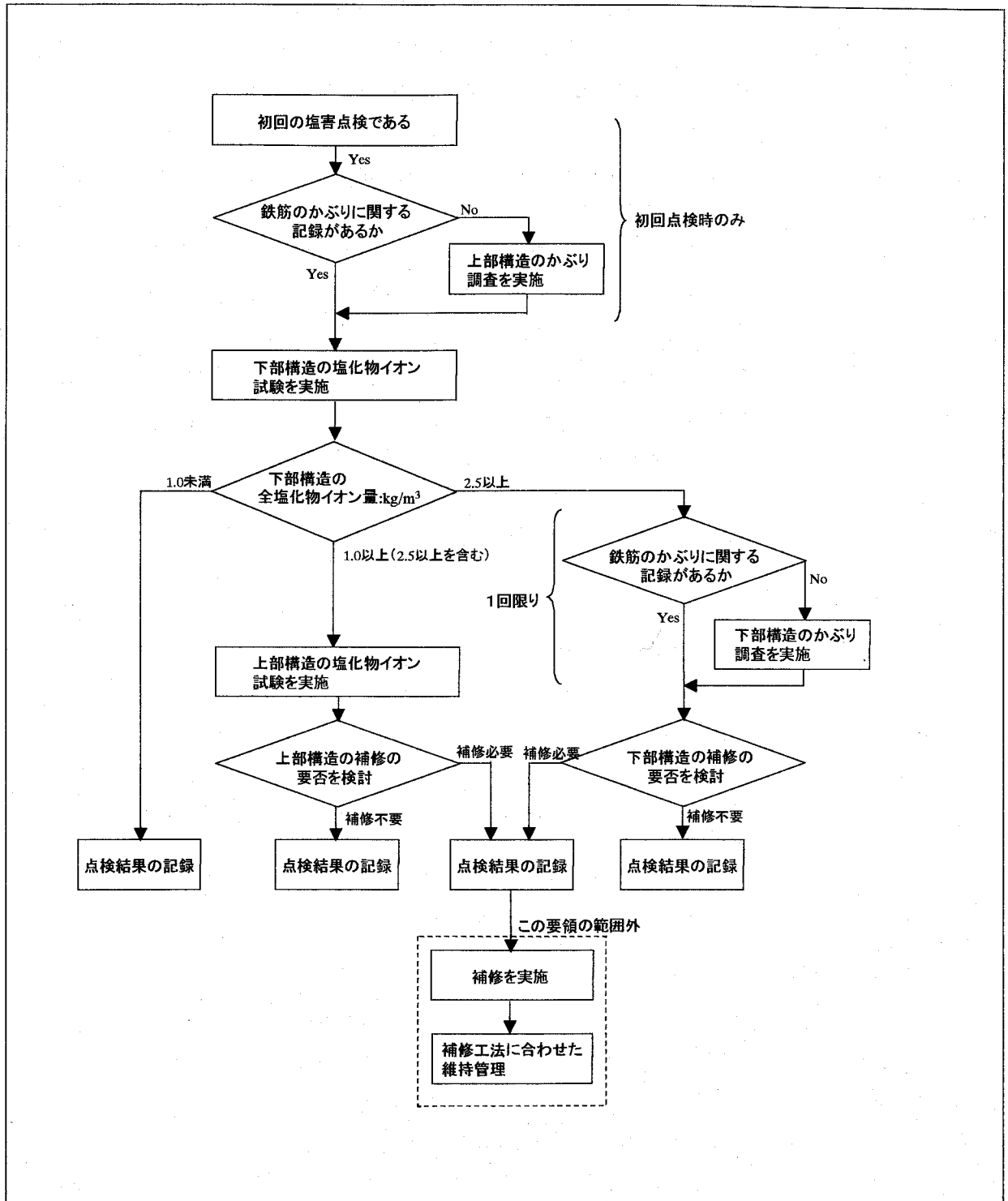


図 7-4 「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案）」の塩害点検に関連するフロー（国土交通省道路局 2004 年）

うことにしている。

しかし、同じ方法を中性化や凍結融解、アルカリ骨材反応などの劣化現象に使おうとすると非常に不経済となる。まず、これらの劣化が生じる発生地域・発生構造物を絞り込むことが難しく、もし「予防保全」のために劣化の兆候のない構造物を点検しようとする、膨大な数の構造物を対象としなければならない。劣化進展を予測するための試験については、中性化に限れば、点検時に現場でコンクリートを一部はつり、フェノールフタレインを噴霧する中性化深さ試験で劣化の進展を推定できるため、非常に安価である。しかし、かぶりの測定は構造物の全面に行わなければならない、重要構造物では竣工時のかぶり調査が一部で行われているため現実性があるものの、既設の全構造物に対して実施するとなるとかなり難しい。凍結融解とアルカリ骨材反応では、劣化の兆候が現れる前に劣化が生じることを予測しようとする、コンクリートの劣化ポテンシャルを調べなければならない、多くの試験項目あるいは手間や時間がかかる試験項目について試験が必要で、かつ、精度もそれほど期待できない。例えばアルカリ骨材反応に関しては、コンクリートの劣化ポテンシャルを調べようとする、コンクリート中のアルカリ量の把握と骨材の反応性の把握は必須である。しかし、これだけでは混和材の影響などは把握できないため、劣化予測の精度を上げようとする、コアの膨張量試験を行う必要がある。これらの一連の調査の費用はかなりの額になる。つまりこれらの現象に対し、「予防保全」を行おうとすると、対象構造物を絞り込まない限り、詳細調査の「効果／費用」が著しく低いものになってしまう。現実には対象構造物の絞り込みはかなり難しい。

一方、もし仮に劣化が生じた場合でも、これらの劣化では、塩害ほどには急速には劣化が進まない、ので、事後の対応が十分に可能であると考え。例えば、中性化については、筆者は既にコンクリートクライシスが問題になった 1985 年頃に、東京つくば間の道路や鉄道の多くの構造物で、中性化による鉄筋かぶりの剥離を目撃している。それらのうちには、その後も補修などが施されることもなく、あまり劣化が進行しないまま供用されて続けている例が数多くある。凍結融解についても一部の例を除くと、構造物中の劣化の発生場所は流水に触れるところなどに限定され、その進行は比較的緩やかである場合が多い。アルカリ骨材反応劣化構造物では、その約 8 割は補修が必要な段階までは到らず、劣化が停止していることも考え合わせると、これらの劣化原因に対して「予防保全」を原則とするとは、不経済で非効率と考える。

わが国のアルカリ骨材反応による劣化を考える場合、維持管理の対象となる構造物はほとんどが竣工 20 年以上のものであることも重要である。つまり、アルカリ骨材反応による劣化を「予防保全」を行おうにも、劣化が生じるものでは既に兆候が出ている可能性が極めて高い。20 年以上劣化の症状が出ずに、これから新たに劣化が顕在化するものは極めてまれであると考えられる。極めてまれであれば、「予防保全」のための調査を行うのは「効果／費用」が低すぎる。

なお、これまで見た来たように 1986 年以降竣工のアルカリ骨材反応抑制対策を施した構造物で劣化が生じる可能性は極めて低い。もし、劣化が生じた場合には抑制対策の不備や施工の不備などが考えられるため、専門家への報告が必要である。

以上のことを考え合わせると、劣化コンクリート構造物の維持管理の基本的な考え方は、基本的には「塩害」は「予防保全」、「それ以外の劣化」は「対処療法」で対応するのが合理的と考える。

7-4 点検のポイント

点検は「目視による」が基本と考える。

前節で考察したように、劣化症状が出る前の点検は通常の日視点検を行うのが合理的である。その結果として、アルカリ骨材反応特有の劣化症状が出た場合には、基本的には目視点検で原因を推定することを推奨したい。これは 7-1 で述べたように、種々の試験を実施しても「この構造物はアルカリ骨材反応である」というレベルから「この構造物は間違いなくアルカリ骨材反応である」というレベルに判定をあげるにとどまっていた、その後の対応に有効に活用されてる例は極めて少なかったためである。一部の例外を除いて、目視で判断して原因を特定しておいて問題がないと考える。一部の例外とは、例えば塩害環境にある場合で、特に橋梁上部工では、塩害でもアルカリ骨材反応でも軸方向のひび割れが出るため、判定が難しい。このような場合には、塩害も視野に入れた対応をすることが重要である。

目視での判定で問題となるのは、具体的な判定基準である。これまでに、いろいろな機関でひび割れ密度や長さ、ひび割れパターン、変色、ゲルの滲出などの判定要素を定量化、あるいは半定量化しようと試みている。図 7-1 の阪神高速道路公団の例もそうしたものである。しかし、文章だけの具体的な判定基準を作っても限界があると考えている。例えば最新の事例では、北陸地方整備局の「北陸地方整備局における ASR 劣化コンクリート構造物維持管理マニュアル (案)」¹⁰⁾ があるが、このマニュアルでは従来の文章による判定法だけではなく、写真や図を組み合わせた判定法を示しているかなり実用的なレベルにある。このマニュアルに写真や図を組み合わせた判定法を導入することは、筆者も強く勧めたことである (なお、このマニュアルはまだ、目視以外の多くの試験も実施するように勧めている)。第 3 章から第 5 章で紹介したいいくつかの調査を通して、筆者は、劣化原因がアルカリ骨材反応かどうかを判定するためだけなら、ある程度の数の事例の写真等を見て訓練することにより、現場技術者でも実用上十分なレベルの判定が可能であると考えている。一部の塗布モルタルのひび割れなどの紛らわしい事例さえ注意すれば、大きく間違えることは少ないと考える。もちろんこれは現場技術者がどこまでの判定を行うかにもよるが、現場ではかなり明確な事例のみを判定し、もし現場技術者の目視による判定が困難なら専門家に相談するのがよいと考える。つまり、現場技術者はスクリーニングを行うのである。この段階で判定の難しい事例について専門家に相談せずに、現場判断で各種の試験を行うと、結果として無駄な試験を行う結果になる確率が非常に高くなる。現場と専門家をどう繋いでいくか等の体制については 7-6 で示す。本論文では通常の日視点検は目視判定で十分なことのみを示し、判定基準の具体は上記マニュアル等に譲ることにする。

なお、アルカリ骨材反応による鉄筋破断は深刻な問題であり、別途対応を考えなければならない。鉄筋が切れてしまった後での補強等の対応はかなり大規模にならざるを得ず、できれば鉄筋が破断する前に「予防保全」に対処したいところである。しかし、現状では鉄筋破断に到るまでの劣化のメカニズムや経時変化などが不明で、どういう条件で鉄筋破断が生じるかが不明である。さらに、現状では鉄筋破断に到る構造物の確率は極めて低い。このような状況では、「予防保全」は技術的にも経済的にも難しく、鉄筋破断の問題に対しても通常の日視点検で対応し、問題が生じた場合には「事後対応」せざるを得ない状況にあると考える。

7-5 補修の必要性の判断と適用補修方法

図 4-12 で示したように、補修の必要性の判断は構造物管理者と筆者ではかなり異なっていた。現場ではどうしても安全側に判断している。では、実際に補修を行ったもののでは、その効果が見られたかという点、第5章 5.5(2)で見たように補修の効果は明らかではなかった。現実には現場では安心のためや美観への配慮から補修がなされていると考えられる例が少なくない(表 5-8 参照)。また、補修材料そのものが劣化している例も多い。さらに日本では、第4章で見たようにアルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物はいずれも竣工後20年以上を経過している状況があり、劣化の進行はおおむね収束しているように見える。このような状況で、今後、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の補修をどのように考えていけばよいかを考察する。

竣工後20年以上を経過していて、さらに劣化が進むという状況があるとすれば、次のような場合であろう。

- ① これまで乾燥状態で供用されていたものが、供用条件の変化で、湿潤状況におかれる場合
- ② ひび割れが既に生じている構造物で、周辺でアルカリ分を含む凍結融解防止剤を使用する場合
また、竣工後20年以上を経過していて、さらに補修が必要な状況があるとすれば、次のような場合であろう。
- ③ 既に補修されていたもので、コンクリートの膨張あるいは補修材の劣化が進行した場合
- ④ 第3者被害や景観を考慮しなければならなくなった場合

上記の①～④のいずれの場合でも共通することは、劣化進行防止には構造物への水の供給を極力少なくすることが極めて重要である。4-5(2)でも見たように、現状は現場の水処理に関する施設の維持管理は極めて関心が払われていない状況にある。4-4(2)に示したように水の供給を遮断することで、アルカリ骨材反応による劣化の進行はかなり抑えられる。過去のコンクリート表面塗装による補修では、例えば橋柱などに見られるように、補修材を塗りやすいところのみを補修していて、結果的には構造物内に水をため込む効果(tank effect)をもたらしている事例も見られる。このような場合には、上部工のジョイントからの給水を遮断する方がコンクリート表面塗装より、効果があると考えられる。もし、表面被覆を行うなら、側面ではなく、上面にのみ行うのが良い。

なお、「水の供給を遮断しても、内部の水分で十分にアルカリ骨材反応は進む。そのため、水の供給の遮断は根本的なアルカリ骨材反応対策にはならない」というご意見もある。筆者も砂漠地帯にある米国のフーバーダムで、常時乾燥していると思われる親柱に著しいアルカリ骨材反応が発生しているのを目撃している(写真 2-1)。しかしながら、第4章の多くの事例などを見る限りでは、わが国の多くの構造物では、水仕舞いさえしっかりしておけば、アルカリ骨材反応を補修が要らない範囲に押さえることは十分に可能であると思われる。

ちなみに、融雪剤によるアルカリ骨材反応の劣化促進については、まだ結論が出ていない。1999年に日本コンクリート工学協会から「融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集」¹¹⁾が出され、かなり綿密な検討がなされている。文献調査や事例調査、室内試験を行った結果、最終的には、次のような結論に到っている。

- ・ 理論的あるいは小型供試体による実験では NaCl 溶液がアルカリ骨材反応を促進する。
- ・ 実構造物で融雪剤の NaCl がコンクリート構造物に侵入していることは確認された。

- ・ しかし、アルカリ骨材反応の劣化との相関はなかった。
- ・ 侵入した NaCl が、コンクリート表面にとどまっていることを考慮すると、融雪剤はアルカリ骨材反応の劣化にあまり影響していないと考えてよいようである。

水処理以外の補修を行うとすれば、基本はひび割れ注入は比較的耐久性があるようである。例えば、付録Ⅲ-4 の写真にも見られるように、ひび割れ注入は比較的経時変化が少なく、鉄筋の腐食の抑制にはプラスの効果があると考えられる。ひび割れ注入の必要性の判断は、第3章～第5章の調査では明らかにできなかった。一般の構造物では鉄筋の腐食を防止する観点からは、環境条件に応じて 0.2mm から 0.8mm 程度がひび割れ注入の必要性の判断基準となっている。表 4-3 に示したように、塩害地域以外ではかなり大きなひび割れにのみ鉄筋腐食が見られたこと、多くの場合 1 mm 程度のひび割れは析出物で埋まっていることが多いことを考慮すると、1 mm 以上のひび割れを対象とするのが実務的だと考える。なお、塩害地域ではアルカリ骨材反応対策のみならず、塩害対策も含めて総合的に検討する必要がある。ちなみに、前出の「北陸地方整備局における ASR 劣化コンクリート構造物維持管理マニュアル（案）」では、当初の 2003 年原案段階では、ひび割れ幅 0.2mm 以上を注入の対象としていた。これはかなり安全側過ぎる対応であると考えられたため、筆者らの助言等もあって、最終案では 1 mm 以上をひび割れ注入の対象としている。

景観を考慮する場合には、どうしてもコンクリート表面塗装にならざるを得ない。その場合には、補修によって水をため込むことにはならないか、補修材料そのものの寿命は十分にあるか、といったことを考慮すべきである。

なお、第6章でも述べたように、第3章から第5章までの調査対象となった補修方法や補修材は、基本的には耐久性総プロ¹²⁾などに示された古いタイプのものである。上記の考察はあくまでも既存の補修事例から得られた結果に基づくものである。補修材料¹³⁾や補修方法¹⁴⁾は、日進月歩であることを考えると、近未来では上記の考察は必ずしも適当ではない可能性が大いにありうる。データの蓄積を期待したい。

ひび割れがある程度大きな構造物では、コンクリート塊落下による第3者被害が想定される。これまでに調査した構造物では、よほど著しいひび割れでない限りはコンクリート塊が落下することはまれなようである。ひび割れ注入を行うような構造物で、第3者被害が想定される場合には、たたき調査を行っておくのがよさそうである。

なお、鉄筋破断に対しては補強が必要となる。現実にはそうした構造物の絶対数は少なく、個別に検討がなされているため、ここでは議論しないこととする。

表 7-4 アルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の補修のポイント

- | |
|-----------------------|
| ① まず水処理 |
| ② 経過観察 |
| ③ 必要に応じ、1mm以上のひび割れの注入 |

以上をまとめると、わが国でアルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の補修は、現時

点では、まずは「水処理の改善」、場合によっては1 mm以上のひび割れの注入による補修を行うことを基本とするのが良いと考える。

7-6 維持管理遂行体制

既に4-5でも述べたように現場での維持管理にはさまざまな問題があり、それらを解決しないとアルカリ骨材反応に限らず、劣化構造物の効率的な維持管理は実行できない。特に、「構造物の全体を見ていない」という状況は懸念される。

さらに、7-1に示したように各種の関連図書を見る限りは、現場技術者が現場で適切な判断を、合理的な費用で行うようには書かれていない場合がほとんどである。執筆者が研究者であったり、補修技術者である場合が多いためか、極めて高度な判断を現場技術者に要望しているようにも読める。

例えば、我々人間が病気になった場合、まず対応するのは「家庭医」や「町医者」である。原因が明確で、軽度の病気の場合は、そこで診断し治療を行う。「家庭医」が判断できないような病気や重篤な病気に対しては、患者を「専門医」に行かせる。良い「家庭医」というのは、結局このスクリーニングができるかどうかであろう。

コンクリート分野では、数年前から日本コンクリート工学協会の「コンクリート診断士」の制度が動き出したり、橋梁では橋梁調査会の「橋梁診断士」の制度などが整備されつつある。しかし、「コンクリート診断士」の教科書でもある「コンクリート診断技術04」⁵⁾は、前にも見たようにかなり高度な内容、あるいは研究者向け・専門家向けの内容を含んでいる。あたかも、診断士全員が専門家になることを期待しているような部分も見受けられる。土木学会の示方書と、現場の現状やニーズにはかなりの隔たりがあり、双方の歩み寄り、あるいは間を埋める何かが必要である。

このような状況で今後のコンクリート構造物の維持管理体制をどのようにしていくかを考えると、表7-5のようなポイントがあると考ええる。

表 7-5 維持管理遂行体制の改良のポイント

- | |
|----------------------|
| ① 構造物の全体を見るシステムを |
| ② 現場での判断はスクリーニング |
| ③ 現場技術者、専門家の役割分担を明確に |

つまり、現場で構造物全体を日常観察し、明確に原因のわかる劣化や軽微な劣化に対しては現場で判断を下し、それが難しい場合には専門家に相談するというスクリーニングができる現場技術者を育てて配置する必要があるだろう。専門家は、これまで通り、高度な専門的な知識・経験を活かし、現場の指導を行うが、改めなければならない点もいくつかある。つまり、現場からの相談を受けた専門家は往々にして、正確な判定のために、多くの試験を現場担当者に課す場合がある。また正確を期すためか、明確な結論や指導を避ける場合もある。現場担当者が専門家に相談をする場合は、少なくともこれまででは、明確な方向付けを期待しているわけであり、試験の追加などの余計な業務が増えたにもかかわらず、明確な方向付けを得られない場合には、再度相談をしようとはしなくなる傾向にある。

表 7-6 維持管理に携わる技術者の種類と仕事の内容

	技術者の種類		
	構造物の管理者	現場の診断士	専門家
仕事の中身	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日常、構造物を「よく見る」 ・ 構造物の変化を記録する ・ 記録を継続する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造物の管理者からあがってきた変状事例への対応 ・ 劣化原因推定 ・ 明確な原因の軽度の劣化の構造物の維持管理方針の作成 ・ 劣化原因推定の難しい事例や、重篤な劣化について専門家へ相談 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 劣化に関する研究 ・ 現場の診断士からあがってきた相談事例への対応
責務	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造物の何らかの異常を素早く見つける 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「家庭医」としての診断治療 ・ スクリーニング 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「専門医」としての診断治療 ・ 明確な治療方針の提示
常駐場所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造物の管理機関の事務所等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地方や県レベルの局や支社 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大学、研究所
教育方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ OJT ・ 講習会 	<ul style="list-style-type: none"> ・ OJT ・ 「専門家」による研修 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主に研究

このようなことを考慮すると、コンクリート構造物の維持管理を担当する技術者は3種類ぐらいを想定するのがよさそうである。そのときの、仕事の内容と範囲等の概略を示すと表 7-6 のようになる。

もちろんこうした技術者を活用して行くには、単なる技術力の向上を図るだけではシステムは機能しない。維持管理業務の発注形態や、契約システム、技術者の評価システムや勤務形態など解決しなければならない問題は数多くある。一部行政サイドでも、主に新設構造物の建設に対応した現状の土木関係の様々な業務形態では不十分だと認識もできており、若干の検討も始まっている。いずれにしても、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の維持管理のみならず、公共構造物全体の維持管理体制はかなり大幅な見直しが必要と感じており、今後も引き続き検討していかなければならない課題であると認識している。

【参考文献】

- 1)阪神高速道路公団：「アルカリ骨材反応に対するコンクリート構造物の管理指針（暫定案）」1985
- 2)建設省：総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書 1988
- 3)日本コンクリート工学協会：「アルカリ骨材反応調査研究委員会報告書」1989.07
- 4)例えば、小野紘一他：コンクリート構造物の耐久性シリーズ「アルカリ骨材反応」技報堂出版 1986.05
- 5)日本コンクリート工学協会：「コンクリート診断技術 0 4」2004
- 6)2001 年制定土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕
- 7)土木研究所、日本構造物診断技術協会：「非破壊検査を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル」技報堂出版、2003.10
- 8)国土交通省道路局：「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」2003.03
<http://www.mlit.go.jp/road/press/press03/20030319/20030319.html>
- 9)国土交通省道路局：「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案）」2004
- 10)北陸地方整備局：「北陸地方整備局における ASR 劣化コンクリート構造物維持管理マニュアル（案）」
- 11)日本コンクリート工学協会：「融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集」p.94 1999.11
- 12)建設省：総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書 1986.06
- 13)例えば、久保善司他：シラン系表面処理の再補修効果について、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集 第2巻 p.35 2002.10 日本材料学会
- 14)例えば、羽瀧貴士他：海洋環境において ASR を生じたコンクリート構造物の調査事例と新しい表面被覆工法の開発、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集 第4巻 p.111 2004.10 日本材料学会

第8章 まとめ

本論文は、鉄筋破断を生じたような特殊なものを除いた、大多数のアルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の今後の維持管理の合理化を図ることを大きな目的としている。

このためにまず第1章で、今後のコンクリート構造物の維持管理の重要性を整理し、その中でのアルカリ骨材反応劣化構造物の維持管理のための理論的なデータが少ないことを整理した。そして、劣化進行シナリオを描き出すことの重要性と、それを取り込んだ維持管理方針の策定が重要であることを明確にした上で、本論文の5つの具体的な目的を整理した。

次に第2章で、わが国におけるアルカリ骨材反応への対応の経緯と研究状況を整理した。そして、特に合理的な維持管理に資するための劣化進行シナリオの検討、効率的な検査・点検手法の検討、補修の必要性の判断基準の検討などが不足していることを示した。また、現場での維持管理の対応に関しても種々の技術的、体制的な問題があることを指摘した。

第3章では1999年に行った、土木のコンクリート構造物に対する全国調査結果を分析することによりアルカリ骨材反応に関連しては、次の結果を得た。

- ・ 調査対象の2099構造物のうち、アルカリ骨材反応を生じている、あるいは疑わしい構造物が22件あった。これは全体の1%強である。
- ・ 橋梁下部工と擁壁では、典型的なパターンのひび割れが見られ、発生件数もそれぞれ8件、4件と多かった。これはそれぞれの2%と1%に相当する。橋梁上部工とカルバートには劣化事例がなかった。トンネルで明らかにアルカリ骨材反応と考えられる事例は1件で、坑門に見られた。もう2件でアルカリ骨材反応が疑われたが、判断が難しいものであった。河川構造物でも明らかにアルカリ骨材反応と考えられる事例が4件あった。もう3件でアルカリ骨材反応が疑われたが、判断が難しいものであった。
- ・ 劣化度Ⅳ程度のものが、下部工で1件、擁壁で3件、河川構造物で1件あった。ただし、擁壁のひび割れは見た目にインパクトが強いので、過大評価している可能性はある。
- ・ 1986年のアルカリ骨材反対策実施以降の構造物でアルカリ骨材反応による劣化が疑われる構造物は、今回の調査では認められなかった。

第4章では、国土交通省直轄国道にかかる道路橋に対して行ったアルカリ骨材反応による劣化構造

物の実態調査から、次のことを明らかにした。

- ・ 国土交通省が管理する直轄国道にある全橋梁の約2%がアルカリ骨材反応による劣化の症状を呈していた。1986年以降竣工の構造物では劣化は見られない。
- ・ アルカリ骨材反応の影響を受けた橋梁のうちの約4分の1が、何らかの補修を行ったり、補修の必要性を検討したりすることが必要と考えられた。これは直轄国道全橋梁の約0.5%である。
- ・ 地域的に見ると、道路橋のアルカリ骨材反応の発生率は、北陸と中部で高い。劣化構造物の絶対数もこの地区で多い。北日本では発生率は低い。
- ・ 1961～1986年の間で「補修必要」あるいは「補修検討」の構造物の割合は年代でほとんど変わらない。
- ・ 数mm程度の幅のひび割れが生じることは、少なくない。しかし、ひび割れ幅が大きいからといって必ずしも、鉄筋腐食が腐食し、腐食程度も大きくなるというわけでもなかった。
- ・ 外部からの水の供給の有無により、ひび割れなどの変状に著しい差が見られ、雨掛かりの処理、橋梁上面の排水処理などの水仕舞いの重要性が再認識された。

以上の調査結果から、現に国土交通省直轄国道にかかる道路橋に生じているアルカリ骨材反応による劣化のシナリオを推定すると以下のようにになると推察される。

- ・ アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張は、多くの橋梁で20年以内に収束する。このため、1986年以前竣工の橋梁では「補修必要」+「補修検討」の構造物の割合はほぼ一定している。
- ・ ただし、一部の橋梁では補修後も劣化が進行したことを否定できない。

第5章では、土木研究所で過去に行ったアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物の実態調査の対象となった69構造物に対し、劣化進行の追跡調査を行った結果、次のことが判明した。

- ・ 構造物種類で最も数の多かったのは橋梁下部工である。次に多いのが擁壁であり、いくつかの河川構造物が続く。
- ・ 劣化が顕在化している箇所は、上部からの水の影響を受けやすい箇所が主であった。
- ・ 過去の調査時点で、すでに補修が実施されていた構造物は9件であった。
- ・ 2003あるいは2004年時点までに25の構造物（前述の9件を含む）で補修がなされていた。
- ・ 半分以上のアルカリ骨材反応劣化コンクリート構造物では、補修を必要とする段階に到らない内に、劣化進行が収束する。
- ・ 竣工後数年～30年の調査で「補修必要」と判断された構造物でも、その後、約2/3の構造物では劣化は進んでいない。ただし、これらは補修が効いたのか、劣化が補修時点で収束していたのかは不明である。残りの約1/3では劣化が進んだか、補修が劣化した。

第6章では、第2章から第5章までの調査結果を受け、わが国におけるアルカリ骨材反応コンクリート構造物の劣化進行シナリオを検討した。その結果、次のようなシナリオを提案した（図6-3）。

- ・ アルカリ骨材反応による劣化は、塩害のように急激には進行しない。
- ・ 8割の劣化コンクリート構造物は竣工後20年以内にコンクリートの膨張が、補修を必要としないレベルで収束する。
- ・ 2割の劣化コンクリート構造物は、竣工後早い時期に補修を必要とするレベルに達する。しかし、その後の変化は緩慢である。
- ・ ごくわずかな構造物で鉄筋破断に到る。

第7章では、第6章の劣化進行シナリオ等を受け、さらに我が国特有の条件、著者のこれまでの経験等を加味して、アルカリ骨材反応劣化構造物に対する合理的な維持管理の考え方を整理し、次の提言を行った。

- ① 塩害と異なり、アルカリ骨材反応に対しては「予防保全」より「事後対応」で対応の方が合理的である。
- ② 種々の原因推定試験法が提案されているが、現状では「目視」による原因推定と劣化度判定が実用的である。
- ③ 原因がアルカリ骨材反応であると判定した場合、直ちに補修を検討するよりは、まずは水の供給を絶つことが先決である。補修については時間をかけて必要性を見極めても大丈夫である。
- ④ ただし、幅広いひび割れのある構造物の鉄筋破断は要注意である。

以上のように、本論文では膨大な数の構造物の関する資料を分析し、わが国で初めてアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化進行シナリオの実態を明らかにした。その結果をもとに、実用的な維持管理の方向を示した。これらの結果は、アルカリ骨材反応に対する維持管理のこれまでの常識とは一部異なっている部分もある。また、本論文で分析した調査結果は、基本的には1986年以前に建設された、主に旧建設省が建造した構造物であり、全てのコンクリート構造物を網羅しているわけではない。このため、上記の第7章の提案が必ずしも正しくない場合もありうる。特に、補修補強に関しては、その研究・技術開発は日進月歩であるため、今回の調査では新しい材料・工法についてはほとんど把握できていない。このため、補修の効果に関しては過小評価をしている可能性もある。

一時期はコンクリートの「ガン」だといわれ過剰な対応がとられた構造物がある一方で、無関心に放置されていた構造物も存在している。このような状況では、正確な劣化進行シナリオと正しい維持管理の方針を示すのが大変重要であると感じている。アルカリ骨材反応に対する過剰な不安感を払拭しつつ、現場での冷静かつ合理的なコンクリート構造物の維持管理を遂行する上で、本論文の成果が大いに役立つものであると確信している。

謝 辞

まず、大変お忙しい中、論文の審査をしていただきました京都大学教授 宮川豊章博士、同教授 田村武博士、同教授 岡二三生博士、同教授 椎葉充晴博士、同教授 小林潔司博士に、深甚なる感謝の意を表します。

本論文は、著者がコンクリート構造物のアルカリ骨材反応に関する研究に関わって以来、約 20 年の間に行った研究のうち、現場実態調査の部分を中心にとりまとめたものです。

アルカリ骨材反応については、旧建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」で研究の機会を与えられ、その劣化発生メカニズム、反応性骨材の判定法、新設構造物での発生抑制法など多面的な研究を集中的に実施してきました。また、1987 年には抑制手法の研究で当時の英国環境省の建築研究所での 1 年間の研究の機会も与えられました。このため、「アルカリ骨材反応」で論文を書きたいという希望は持っていましたが、平成に入ってからなかなか直接の研究の機会が得られませんでした。

そうこうするうちに、2003 年にアルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物での鉄筋破断が大きな問題となると同時に、アルカリ骨材反応劣化構造物全体の維持管理の問題が浮上してきました。各方面から提案される維持管理の具体案に対し、筆者がこれまでの技術指導などから得た感触とかなりのずれを感じていたところ、「それを解決するのがあなたの仕事だ」という趣旨の助言を京都大学教授 宮川豊章博士からいただき、論文の方向性が瞬時に明確になりました。土木研究所という現場データを得るのに恵まれた立場にしながら、それらのデータを活用できない筆者に対し、叱咤の意味もあったとは思いますが、本論文は博士の明確な助言があったからこそ、と感謝いたしております。

本論文で取り上げた調査結果は、多くの人々のチームワークの成果です。特に 1999 年の全国調査から 2003 年の道路橋調査について、独立行政法人土木研究所構造物マネジメント技術チーム(構マネ)の古賀裕久主任研究員が、調査計画からとりまとめまで一貫して協力してくれました。追跡調査では、同チームの山口順一郎交流研究員に協力をいただいております。調査の実施やデータの収集には、旧建設省技術調査室、国土交通省道路局国道防災課、同各地方整備局および多数の工事事務所の関係部署、等々の多くの方が関わっておられます。さらに、構マネの渡辺博志主席研究員、森濱和正主任研究員、片平博主任研究員、久田真主任研究員、田中良樹主任研究員(現橋梁構造チーム)には、種々のアドバイスをいただき、沼田次未さん、片山理恵さんには論文執筆のご協力をいただきました。これらの多くの方々には深く感謝の意を表します。

また、アルカリ骨材反応の研究の機会を与えてくださった、元土木研究所の小林茂敏博士をはじめとする上司や同僚の方々、筆者の遅々として進まない論文執筆に対し常にご鞭撻とお励ましを賜った我が恩師 現愛知工業大学教授 長瀧重義博士をはじめとする多くの方々に心から厚く御礼申し上げます。

最後に、著者を育ててくれた父母、著者を支えてくれた妻に感謝の意を表する次第です。

- 付録Ⅰ 1999全国調査 調査票
- 付録Ⅱ 追跡調査 調査票
- 付録Ⅲ 追跡調査 調査結果集計票事例

コンクリート構造物の追加実態調査(概要編)

1. 調査目的

コンクリート構造物の品質について、信頼性を損ねかねない事例が近年発生している。このような状況を踏まえ、コンクリートの信頼性を確保し、より良い住宅・社会資本を提供するために、先ず既設コンクリート構造物の耐久性に関する実態把握を目的に調査を行う。この調査により、立地条件や製作年度と健全度の関連を究明し、コンクリート構造物の耐久性向上の観点から、既存コンクリート構造物の点検・補修のあり方、製造から施工までの建設プロセスおよび今後の技術開発のあり方について検討するものである。また、本調査の主たる目的は、詳細調査によるコア採取から得られる諸々のデータ分析にある。基本調査は、詳細調査箇所特定のための分析資料と位置づけられる。

2. 調査方法

既存構造物に関し、最初に基本調査を行う。この基本調査の結果を回収し検討して、各地建に詳細調査箇所を指定し、この箇所に対して詳細調査を行う。また、生コンクリートに関する品質調査を行う。なお、基本調査については、橋梁台帳、トンネル緊急点検等により劣化の程度が把握可能なものについては、それをもって代用しても良い。

(1)基本調査

各地建ごとに、橋梁上部工、橋梁下部工、擁壁、カルバート、河川構造物、トンネルの6種類の構造物を対象に所轄の県数に示した表-1に示す調査箇所を選定し、調査票-1,2に基づき、資料(施工記録)および目視等により調査を行う。

なお、調査箇所の選定は、構造物の竣工年、地域および周辺環境(工場、住宅・商業地、農地、山地、雪害地)のばらつきを考慮して抽出する。また、橋梁下部工については1基の橋台もしくは橋脚を1つの調査箇所として扱う。

表-1 調査箇所の概数(地建当り)

竣工年	基本調査						詳細調査	
	橋梁上部工	橋梁下部工	擁壁	カルバート	河川構造物	トンネル	基本調査に基づき指定された調査箇所	
～1964	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	6～10 (平均事例)	6～10 (劣化事例)
1965～1974	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
1975～1984	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
1985～	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
計				48×県数			12～20	

1)調査票-1(調査構造物の概要)

調査年月日、構造物名、所在地、構造物形式、竣工年等

2)調査票-2(目視調査結果)

調査年月日、構造物名、変状状況、ハンマーによるたたき調査等

3)提出期限、提出先

基本調査の結果は、1999年10月8日(金)までに建設省・土木研究所・材料施工部・コンクリート研究室・〇〇研究員に提出するものとする。

(2)詳細調査

指定された詳細調査箇所について、各種試験のためのコア採取(各箇所3本づつ)とかがぶり測定を調査票-3に基づき行う。

1)調査票-3(詳細調査結果)

調査年月日、構造物名、圧縮強度、ヤング係数、吸水試験、塩化物イオン濃度、中性化深さ、かがぶり等

2)提出期限、提出先

詳細調査の結果は、1999年11月10日(水)までに建設省・土木研究所・材料施工部・コンクリート研究室・〇〇研究員に提出するものとする。

(3)生コンクリートに対する品質調査

各地建管内で実際に工事で用いているJIS表示認可レディミックスコンクリート工場を対象に、各県2構造物程度を選定し、その品質実態を調査票-4に基づき調査する。

1)調査票-4(生コン品質調査)

フレッシュコンクリートの品質、硬化コンクリートの品質等

2)提出期限、提出先

生コンクリートに対する品質調査の結果は、1999年10月29日(金)までに建設省・土木研究所・材料施工部・コンクリート研究室・〇〇研究員に提出するものとする。

コンクリート構造物の追加実態調査(既存構造物調査編)

1. 調査目的

コンクリートは、住宅・社会資本整備のための重要な資材であり、様々な構造物の構築に用いられている。コンクリートの品質を確保するために、その材料、施工方法、構造に関する規格・基準類が整備され、監督・検査等により品質が確認されてきた。また、築造されたコンクリート構造物については、点検および必要な補修等の維持管理が行われてきている。

しかしながら、コンクリート構造物の品質について、信頼性を損ねかねない事例が近年発生している。このような状況を踏まえ、コンクリートの信頼性を確保し、より良い住宅・社会資本を提供するために、先ず既設コンクリート構造物の耐久性に関する実態把握を目的に調査を行う。この調査により、立地条件や製作年代と健全度の関連を究明し、コンクリート構造物の耐久性向上の観点から、既存コンクリート構造物の点検・補修のあり方、製造から施工までの建設プロセスおよび今後の技術開発のあり方について検討するものである。

2. 調査方法

最初に基本調査を行う。基本調査では構造物の竣工年や環境条件等の基本データを集め、目視でわかる範囲の劣化状況の調査を行う。この基本調査の結果を検討した上で、各地建に詳細調査箇所を指定し詳細調査を行う。詳細調査の調査要領は、調査箇所の指定時に再度示す。

(1) 基本調査

各地建ごとに、橋梁上部工、橋梁下部工、擁壁、カルバート、河川構造物、トンネルの6種類の構造物を対象に所轄の県数に応じた表-1に示す調査箇所を選定し、調査票-1, 2に基づき、資料(施工記録)および目視等により調査を行う。

なお、調査箇所の選定は、構造物の竣工年、地域および周辺環境(工場、住宅・商業地、農地、山地、雪害地)のばらつきを考慮して抽出する。また、橋梁下部工については1基の橋台もしくは橋脚を1つの調査箇所として扱う。

表-1 調査箇所の概数(地建当り)

竣工年	基本調査						詳細調査	
	橋梁 上部工	橋梁 下部工	擁壁	カルバー ト	河川 構造物	トンネル	基本調査に基づき指定さ れた調査箇所	
～1964	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	6～10 (平均事 例)	6～10 (劣化事 例)
1965～1974	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
1975～1984	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
1985～	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
計	48×県数						12～20	

調査方法は、基本的には目視により行うものとする。但し、ひび割れや鋼材の露出箇所の調査では可能なかぎり接近して調査を行うものとする。

たたき調査は、ひび割れ、はく離、ジャンカ豆板等の外観の変状が顕著な場合に、必要(変状箇所)に応じ足場等を組んで行うものとする。

1) 調査票-1(調査構造物の概要)

- ・調査年月日(資料調査を実施した年月日)
- ・担当事務所
- ・調査担当者
- ・連絡先(TEL、内線まで)
- ・構造物名(例:○○橋梁PII橋脚、△△号函渠)
- ・所在地(大字名まで記入)
- ・路線名・河川名(河川構造物の場合は河川名)
- ・位置(起点からの距離○○.○km)
- ・構造物形式(下記の形式を記入、該当しない場合はその形式名称を記入)
- ①橋梁上部工
 - RC中空床版、RC中空床版、RCT桁、RC箱桁、PCブレンデン床版、PCブレンデン中空床版、PCボステン中空床版、PCブレンデンT桁、PCボスデンT桁、PCボスデン箱桁、合成T桁、合成箱桁
- ②橋梁下部工
 - 橋台:重力式橋台、逆T式橋台、控え壁式橋台、ラーメン橋台、箱式橋台、中抜き橋台
 - 橋脚:壁式橋脚、柱橋脚、ラーメン橋脚、T型橋脚、I型橋脚、パイルベント橋脚
- ③擁壁
 - 重力式擁壁、U型擁壁、逆T型擁壁、L型擁壁、控え壁式擁壁、ボックス擁壁
- ④カルバート
 - ボックスカルバート、門形カルバート、アーチカルバート
- ⑤河川構造物(樋門等)
 - ・構造物寸法(高さ、幅、奥行き○○.○m)
 - ・施工年(西暦で記入)
 - ・適用仕様書(設計時及び施工時の適用仕様書を記入)
 - ・コンクリートの設計基準強度(設計基準強度を記入)
 - ・点検の有無および点検内容(有無を○で囲み、有の場合は最新点検年月および点検評価内容(損傷度判定区分、ひび割れ、はく離、鋼材露出等)を記入)
 - ・補修の有無および補修内容(有無を○で囲み、有の場合は最新補修年月および補修内容(ひび割れ注入、表面コンクリート補修等)を記入)
 - ・海岸からの距離(海上、海岸沿い、海岸から○○.○kmのいずれかを○で囲み、海上、海岸沿いでない場合は海岸からの距離を記入)
 - ・周辺環境①(工場、住宅・商業地、農地、山地、その他のいずれかを○で囲み、その他の場合は周辺環境を記入)
 - ・周辺環境②(普通地、雪害地、その他のいずれかを○で囲み、その他の場合は周辺環境を記入)

- ・凍結防止剤の使用(構造物周辺での凍結防止剤の使用の有無を○で囲み、有の場合は年間の使用頻度(○○日/年)を記入)
- ・構造物の直下周辺環境(河川・海、道路、その他いずれかを○で囲み、その他の場合は直下環境を記入。)
- ・標高(海抜表示○○.○m)
- ・構造物位置図を添付

2)調査票-2(目視調査結果)

- ・外観(ジャンカ豆板、変色の有無を○で囲む)
- ・ひび割れの有無(有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
種類:主筋方向、直角方向、両方向(いずれかを○で囲む)
本数:1~2本、3~5本、多数(いずれかを○で囲む)
総延長:○○、○m(ひび割れの概略総延長を記入)
- ・はく離の有無(有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
種類:うろこ状はく離、角欠け、両方、その他(いずれかを○で囲み、その他の場合ははく離の種類を記入)
箇所:1~2ヶ所、3~5ヶ所、多数(いずれかを○で囲む)
総面積:○○、○m²(はく離の概略総面積を記入)
- ・さび汁の有無(有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
箇所:1~2ヶ所、3~5ヶ所、多数(いずれかを○で囲む)
- ・鋼材露出の有無(有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
種類:スベークサ、スターラップ、主鉄筋、シース(いずれかを○で囲む)
箇所:1~2ヶ所、3~5ヶ所、多数(いずれかを○で囲む)
- ・総延長:○○、○m(鋼材露出の概略総延長を記入)
- ・腐食:健全、部分的腐食、全面的腐食、断面欠損(目視による鋼材露出部分の腐食程度はいずれかを○で囲む)
- ・ハンマーによるたたき調査(実施の有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
種類:健全音、異常音(浮き有り)(いずれかを○で囲む)
箇所:1~2ヶ所、3~5ヶ所、多数(異常音の箇所数を○で囲む)
- ・その他
顕著な損傷の有無、補修の要否等について記入
- ・構造物一般図を添付(変状の認められた部分をマスキング)
- ・構造物断面図を添付(調査票-2(断面図))
- ・全景写真を添付(調査票-2(全景写真))
- ・ひび割れ、はく離、鋼材露出等の変状が見られた場合は損傷状況図(調査票-2(損傷図))及び損傷箇所の写真(調査票-2(損傷写真))を添付

付録 図-1-7 調査票-既存構造物調査編(5/24)

調査票-1

調査番号: 地建-番

調査年月日	1999年 月 日()
担当事務所	地方建設局
調査担当者	課
連絡先	TEL (内線)
構造物名	
所在地	
路線名・河川名	

位置	起点からの距離	k m
構造物形式		
構造物寸法	高さ m×幅 m×奥行 m	
竣工年		
適用仕様書		
コンクリートの設計基準強度		N/mm ²
点検の有無	有、無 最新点検	年 月
および点検内容	点検評価内容:	
補修の有無	有、無 最新補修	年 月
および補修内容	補修内容:	
海岸からの距離	海上、海岸沿い、海岸から	k m
周辺環境①	工場、住宅・商業地、農地、山地、その他()	
周辺環境②	普通地、雪害地、その他()	
凍結防止剤の使用	有、無 年間	日程度
直下周辺環境	河川・海、道路、その他()	
標高	海拔	m

構造物位置図(1/50000を標準とする)

添付しない場合は
(別添資料-○参照)と記入し、資料提出

付録 図-1-8 調査票-既存構造物調査編(6/24)

調査票－2

調査番号： 地建－ 番

外観(豆板、変色)	有、無	豆板、変色
ひび割れ	有、無	種類：主鉄筋方向、直角方向、両方向
		本数：1～2本、3～5本、多数
		ひび割れ総延長 約 m
はく離	有、無	種類：うろこ状はく離、角欠け、両方、その他()
		箇所：1～2ヶ所、3～5ヶ所、多数
さび汁	有、無	はく離総面積 約 m ²
		箇所：1～2ヶ所、3～5ヶ所、多数
鋼材露出	有、無	種類：スベーサー、スタースラップ、主鉄筋、シース
		箇所：1～2ヶ所、3～5ヶ所、多数
		露出総延長 約 m
ハンマーによるたたき調査	有、無	腐食：健全、部分的腐食、全面的腐食、断面欠損
		種類：健全音、異常音(弾き有り)
		箇所：1～2ヶ所、3～5ヶ所、多数
その他	顕著な損傷、補修の要否など記入	

構造物一般図

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、資料提出

調査票－2 (断面図)

調査番号： 地建－ 番

構造物断面図

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

調査票—2 (全景写真)

調査番号： 地建— 番

全景写真

添付しない場合は
(別添資料—○参照)と記入し、
資料提出

付録 図—I-11 調査票—既存構造物調査編(9/24)

調査票—2 (損傷図)

調査番号： 地建— 番

損傷箇所(ひび割れ、はく離状況)のスケッチ図

添付しない場合は
(別添資料—○参照)と記入し、
資料提出

付録 図—I-12 調査票—既存構造物調査編(10/24)

調査票－2 (損傷写真)

調査番号： 地建－ 番

損傷箇所の写真

添付しない場合は
(別添資料－〇参照)と記入し、
資料提出

(2) 詳細調査

指定された詳細調査箇所について、各種試験のためのコア採取 (各箇所 3 本づつ) とかぶりの測定を調査票－3 に基づき行う。

詳細調査箇所は、構造物の竣工年、地域および周辺環境を考慮して、平均的な状態を確保するためのサンプルと劣化程度を確保するためのサンプルに分けて抽出し指定する。

詳細調査の要領は、以下のように実施するものとする。

- ① コア抜き位置を決めるため、まず非破壊での鉄筋探索を行う。
この時、鉄筋までのかぶりを調べる (電磁レーダー：2 × 2メートル程度)
(非破壊検査機器の例：日本無線 RC レーダー等)
- ② 3 本のコア (コア No. 1 ～ No. 3) を下記 1) の「コア採取時の留意点」に基づき採取する。
抜いたコアには、採取位置がわかるようにマジック等でマーキングする。
- ③ コア抜きした穴をウエス等で清掃し、切削による粉や水分等を除去する。表面が変色する程度に乾燥させた後、下記 2) の「中性化深さ試験方法」に基づき中性化深さを測定する。
- ④ かぶりを下記 3) の「かぶり測定」に基づき測定する。
- ⑤ コア抜き穴かぶり測定によるはつり部分を下記 4) の「コア採取・かぶり測定後の処理方法」に基づき、確実に補修する。
- ⑥ コア No. 1 の構造物表面から 10 cm を 2 cm 厚に 5 枚スライスして、塩化物イオン濃度試験に用いる。
なお、スライスする際には水を用いないこと。また、スライス時の支障を避けるため、コア No. 1 (φ 100mm × 400mm) より 2 cm 毎のスライス試料を取り、表面からの番号を記入すること。
- 塩化物イオン濃度試験は、下記 5) の「塩化物イオン濃度の試験方法」に基づき、塩化物イオン濃度を求める。
- ⑦ コア No. 1 の残りの部分およびコア No. 2 ～ No. 3 の各々より、コアの両端を研磨するなどして、φ 100mm × 200mm の供試体を計 3 本作成する。
- ⑧ 3 本の供試体を用いて、下記 6) の「吸水試験方法」に基づき、吸水特性、吸水率等を求める。
この試験は、採取コンクリートの密実さを評価するために行う。
- ⑨ 吸水試験で用いた 3 本の供試体を用いて、下記 7) の「圧縮強度試験方法」および 8) の「ヤング係数試験方法」に基づき、圧縮強度およびヤング係数を求める。

1) コア採取時の留意点

- ・コアの供試体寸法は、コアNo. 1については $\phi 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 程度の長さのもの、コアNo. 2～No. 3については $\phi 100\text{mm} \times 300\text{mm}$ 程度の長さのものを採取すること。
- ・場所打ちのコンクリート部分から採取すること。
- ・取りやすい位置から採取すること。
- ・構造物の代表的な試料となるよう配慮すること。また劣化事例のサンプルを採取する場合は、劣化部分を採取すること。
- ・構造部材として重要な部分と同等のコンクリートが用いられており、また、環境条件の面でも平均的である資料が望ましい。
- ・すなわち、部分的に呼び強度が異なるコンクリートが用いられた箇所や、構造物の中でも一部分だけ常に濡れている又は乾いているといった箇所がある場合は、そこから採取すること
- ・は避ける必要がある。
- ・構造物への影響が少ない箇所から採取すること。
- ・構造物の基部および部材の接合部のような応力が集中する位置は避ける。また、コア採取の際に部材を傷つけることのないよう十分注意する必要がある。
- ・コアを採取した位置が分るよう採取位置を記録した図面を作成すること。
- ・コア採取後は補修を確実に行うこと。

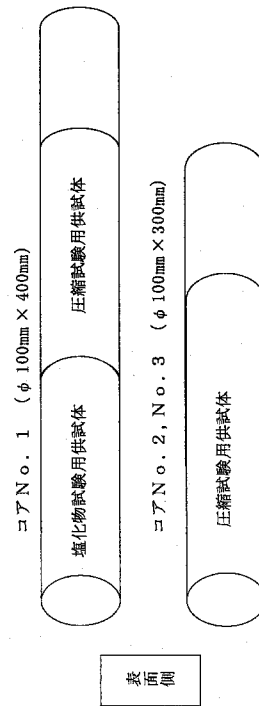


図-1 コンクリートコアからの供試体作成イメージ図

2) 中性化深さ試験方法(簡便方法)

コア抜き穴に霧吹き等でフェノールフタレイン溶液を吹き付けて、中性化を判定する方法である。

①フェノールフタレイン溶液

フェノールフタレイン1.0gを95%エタノール(JIS K 8102エタノール(96))90mlに溶かし、純水を加えて100mlのフェノールフタレイン溶液を作る。

②コア抜き穴の清掃

コア抜き後の穴をウエス等で拭き、汚れや微粉を取り除く。その後、表面が乾燥して色が変わるまで待ち、フェノールフタレイン溶液をコア抜き穴全面に吹付ける。

③中性化深さの測定

フェノールフタレイン溶液を吹付けた後、赤紫色に着色した部分を未中性化領域、着色しない部分を中性化領域として、中性化領域の幅についてコア抜き穴の上下左右の平均を測定し、中性化深さを求める。

(フェノールフタレイン溶液の着色域は、 $\text{pH} 8.3 \sim 10$ である)

3) かぶり測定の留意点

- ・コア採取位置の全てに対して行うこと。
- ・コア抜きした穴を鉄筋のあるところまで少しづつはつるように行い、鉄筋への損傷を最小限にすること。
- ・かぶりは、最外縁鉄筋外側とコンクリート表面間の最短距離とする。
- ・鉄筋が軸方向鉄筋、横拘束筋のどちらであるか、および鉄筋の健全度を確認すること。

4) コア採取・かぶり測定後の処理方法

コア採取・かぶり測定後の処理は、コア採取部分の強度を満たす無収縮モルタルを充填して処理すること。

5)塩化物イオン濃度の試験方法(全塩分量)

塩化物イオン濃度は、(社)日本コンクリート工学協会規程(案)「硬化コンクリートに含まれる塩分の分析手法」に準じて以下のように実施するものとする。

試料の採取 → 前処理操作 → 塩分分析

①試料の採取

下図に示す長さ400mmのコンクリートコア(コアNo.1)を用いる。構造物表面から100mmの区間をコンクリートカッターで20mm間隔(プレート厚を含む)に切断する。なお、このスライス作業には水を用いてはならない。このスライス板をジョークラッシャーまたは軟乳鉢を用いて粉砕し、測定用の試料とする。

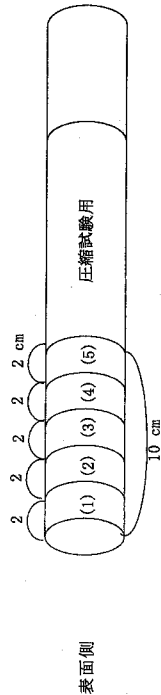


図-2 コンクリートコア切断図

②前処理操作

測定用試料に対し、硝酸溶解法による塩分抽出操作を行い、全塩分量を測定する。

③塩分分析

抽出された塩分の総量操作は、塩素イオン選択性電極を用いた電位差滴定法により行う。求めた全塩分量は、コンクリート質量に対する塩化物イオンの質量の百分率で表す。

本試験による濃度試験は、各スライス板において2回実施する。

④塩化物濃度計算

塩化物濃度の計算は、(社)日本コンクリート工学協会規程(案)「硬化コンクリートに含まれる塩分の分析手法」によるものとする。

6)吸水試験方法(簡便方法)

供試体の乾燥状態と吸水状態における質量を測定して、吸水特性および吸水率を求める方法である。

①乾燥状態の質量

供試体を105℃の乾燥炉中で24時間乾燥させる。乾燥炉から取り出し、十分に温度が下がってから質量を計測する(絶乾質量)。

②吸水状態の質量

供試体を20℃±3℃の水の中に入れて吸水させる。その後、1, 3, 6, 24時間後に供試

体に供試体を水中から取り出し、表面に付着した水分をウエス等で拭き取り、質量を計測する(各時間の表乾質量)。

24時間吸水後の供試体については、直径、長さ測定し、水中での質量も測定する(水中質量)。

③密度

$$\rho = M_d \cdot \rho_w / (M_s - M_w)$$

ここに、 ρ : 密度(g/cm³)

M_d : 絶乾質量(g)

ρ_w : 水の密度 $\rho_w = 1.0 \text{ g/cm}^3$ とする。

M_s : 24時間後の表乾質量(g)

M_w : 水中質量(g)

④吸水率

$$n = (M_s - M_d) / M_d$$

ここに、 n : 吸水率(%)

7)圧縮強度試験方法

圧縮強度試験は、JIS A 1108に規格されたコンクリートの圧縮強度試験方法に準じて以下のように実施するものとする。

①供試体

供試体は24時間吸水させた表乾状態のものを用いる。

コア寸法をJIS規格に基づき測定する。

②圧縮試験機

圧縮試験機は、JIS B 7733に規定する1等級以上のものとする。

③試験方法

試験方法は次のとおりとする。

・供試体の上下端面および上下の加圧板の圧縮面を清掃する。

・供試体を供試体直径の1%以内の誤差で、その中心軸が加圧板の中心と一致するように置く。

・試験機の加圧板と供試体の端面とは、直接密着させる。

・供試体に衝撃を与えないように一様な速度で荷重を加える。荷重を加える速度は、圧縮応力の増加が毎秒0.6±0.4 N/mm²になるようにする。

・供試体が急激な変形を始めた後は、荷重を加える速度を中止して、荷重を加え続ける。

・供試体が破壊するまでに供試体が示す最大荷重を有効数字3桁まで読む。

8) ヤング係数試験方法

ヤング係数試験は、上記の圧縮強度試験の結果を用い、JIS法に準じて次のように求める。

$$E = (f_1 - f_2) / (\epsilon_1 - 50 \times 10^{-6})$$

ここに、E : ヤング係数 (N/mm²)

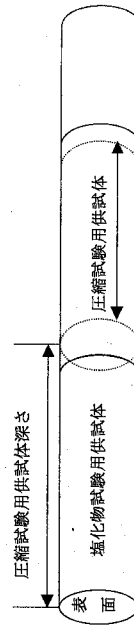
f₁ : 最大荷重の1/3に相当する応力 (N/mm²)

f₂ : ひずみ 50 × 10⁻⁶ のときの応力 (N/mm²)

ε₁ : 応力 f₁ によって生じたひずみ

調査票-3(詳細調査結果)

- 調査年月日 (詳細調査を実施した年月日)
- 担当事務所
- 調査担当者
- 連絡先 (TEL、内線まで)
- 構造物名 (例: ○○橋梁 P1 橋脚、△△号函渠)
- 所在地 (大字名まで記入)
- 路線名・河川名 (河川構造物の場合は河川名)
- コア採取位置 (地盤面又は水面より ○. ○m)
- かぶり (○. ○mm : かぶりは非破壊検査による値を記入)
- 中性化深さ (○. ○mm)
- かぶり (○. ○mm : かぶりは測定による値を記入)
- かぶりに対する鋼材種 (軸方向筋、横拘束筋、その他のいずれかを○で囲み、その他の場合は鋼材種を記入)
- 鋼材の健全度 (健全、部分腐食、全面腐食、断面欠損のいずれかを○で囲む)
- 塩化物イオン濃度 (○. ○○○% : 各スライス板における2回の濃度試験値を記入)
- 絶乾質量 (○. ○g)
- 各時間の表乾質量 (○. ○g)
- 水中質量 (○. ○g)
- 密度 (○. ○g/cm³)
- 吸水率 (○. ○%)
- 圧縮試験用供試体深さ (構造物表面より ○. ○cm : 塩化物試験実施部分として切り取った長さおよび表面整形として排除した長さを記入)



- 圧縮試験用供試体寸法 (φ ○. ○mm × ○. ○mm)
- 圧縮強度 (○. ○N/mm²)
- ヤング係数 (○. ○ × 10⁴ N/mm²)
- コア採取位置図を添付 (調査票-3(位置図))
- コア及び採取位置の写真を添付 (調査票-3(コア写真))
- 対象構造物の全景写真を添付 (調査票-3(全景写真))
- コア採取位置以外の周辺状況写真を2枚程度添付 (橋梁下部工であれば上部工等の周辺構造物も含む) を添付 (調査票-3(周辺状況))

調査票-3

調査番号： 地建- 登

調査年月日	1999年 月 日 ()
担当事務所	地方建設局
調査担当者	課
連絡先	TEL (内線)
構造物名	
所在地	
路線名・河川名	

詳細調査要領の番号	コアNo. 1	コアNo. 2	コアNo. 3
① コア採取位置	(地表面、水面) m	(地表面、水面) m	(地表面、水面) m
① かぶり 非破壊検査	mm	mm	mm
検査機器名、製造会社名	製造社名： 検査機器名：		
② 中性化深さ	mm	mm	mm
④ かぶり かぶり測定	mm	mm	mm
かぶりに対する 鋼材種	軸方向筋、横筋束筋、その他 ()	軸方向筋、横筋束筋、その他 ()	軸方向筋、横筋束筋、その他 ()
鉄筋の健全度	健全、部分腐食、全面腐食、断面欠損	健全、部分腐食、全面腐食、断面欠損	健全、部分腐食、全面腐食、断面欠損
⑤ 塩化物イオン濃度 (図-2)	(1) %		
	(2) %		
	(3) %		
	(4) %		
	(5) %		
⑧ 総乾質量	g	g	g
各時間の表乾質量	1時間後 g	3時間後 g	6時間後 g
	24時間後 g		

付録 図-1-21 調査票-既存構造物調査編(19/24)

密度	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³
吸水率	%	%	%
⑨ 圧縮試験用供試体深さ	cm	cm	cm
圧縮試験用供試体寸法	φ mm × mm	φ mm × mm	φ mm × mm
圧縮強度	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
ヤング係数	× 10 ⁴ N/mm ²	× 10 ⁴ N/mm ²	× 10 ⁴ N/mm ²

付録 図-1-22 調査票-既存構造物調査編(20/24)

調査票－3 (位置図)

調査番号： 地建－ 番

コア採取位置図 (構造一般図に示す)

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、資料提出

付録 図－1-23 調査票－既存構造物調査編 (21/24)

付録 I－23

調査票－3 (コア写真)

調査番号： 地建－ 番

コア及び採取位置の写真

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

付録 図－1-24 調査票－既存構造物調査編 (22/24)

付録 I－24

調査票－3 (全景写真)

調査番号： 地建－ 番

全景写真

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

調査票－3 (周辺状況)

調査番号： 地建－ 番

周辺状況の写真

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

アルカリ骨材反応により劣化した構造物の調査について

1. 調査の概要

アルカリ骨材反応による劣化の補修方法について検討するための資料とするため、構造物の目視調査を行う（可能な範囲で近接して行う、この調査のためだけに足場を用意する必要はない）。ひび割れ状況の把握や記録には、スケール・クラックスケール・カメラ等を使用するものとする。

①過去の調査時の資料と比較して、劣化程度の変化を把握する。

②補修を行った構造物については、補修後の経過を観察する。

③近年、補修された構造物については、使用された補修工法・補修材料を明らかにする。

2. 調査する構造物、調査箇所

過去の調査記録がある構造物を対象にする。過去の調査とは、以下のいずれかを指す。

①1985 年ごろ実施された調査（報告書無し）

②1984～88 年に建設省技術管理業務連絡会で実施した調査（土木研究所集報第 49 号）

③1999 年に建設省技術調査室が中心となって実施した調査（土木研究所資料第 3854 号）

今回の調査では、過去の調査により写真・ひび割れ図等が残っている箇所を中心に調査するものとする。ただし、調査する構造物に、過去の調査箇所以外で顕著な劣化が生じている箇所を発見した場合には、当該箇所についても調査し記録するものとする。

3. 調査項目

調査票（3 枚）に記入する項目は以下の通り。

①調査年月日：調査を行った日付を記入する。直近に行った橋梁点検の資料等を用いる場合には、引用する点検を行った日付を記入する。

②整理番号：構造物データ票と同じものを記入する。

③調査担当事務所：事務所名と部署（課など）を記入する

④調査担当者：電話番号も記入

⑤現在しているか：構造物が現在も存在している場合 Yes に、廃棄されている場合には No に丸を付ける。

⑥補修の有無：前回調査時以降に、アルカリ骨材反応による劣化に対して補修を行っている場合には Yes に、行っていない場合には No に丸を付ける。

⑦補修年：前回調査時以降に、アルカリ骨材反応による劣化に対して補修を行っている場合には、補修した時期を西暦で記す。補修した月までわかっている場合には、これも記す。

⑧補修工法：前回調査時以降に行った補修の補修工法・補修材料を詳述する。補修工法のパンフレット等を別途添付してもよい。

⑨現在の状態：選択肢から概況を選択する（補修を行っていない構造物については、1 または 2 から、補修を行った構造物については、3～5 から選択する）。また、外観観察から明らかになった点について記述する（様式自由）。

⑩ひび割れ図：構造物中におけるひび割れ箇所の位置、ひび割れの形状などがわかるように簡易な図を作成する。ひび割れ箇所に近接できる場合には、そのひび割れ幅、ひび割れ部での段差等を測定し、図中に記録する。また、写真を撮影した箇所についても記録する。

⑪写真：アルカリ骨材反応が生じている箇所または補修箇所の写真添付する。ひび割れ箇所の位置やひび割れのパターンがわかるように留意すること。

※構造物データ票については、特に記述する必要はありません。過去の補修方法・補修材料についてより詳細な資料があれば、添付していただければ助かります。

4. お問い合わせ先

独立行政法人土木研究所

技術推進本部構造物マネジメント技術チーム研究員 ○○○○

アルカリ骨材反応が生じた構造物の追跡調査 構造物データ票

※この面には原則として新たな記載は必要ありません。

担当地整	整理番号
構造物名	(担当工事番号)
所在地	構造物の種類
竣工年	
補修の有無	路線名・または河川名
	(補修年)
補修工法・材料	
過去の状況 (写真)	
前回調査	

アルカリ骨材反応が生じた構造物の追跡調査 調査票1/3

①調査年月日	2003 年 月 日	②整理番号
③調査担当事務所 (事業所名)		(部署名)
④調査担当者 (役職)		(氏名)
⑤現存しているか	Yes No	(電話番号)
⑥補修の有無	Yes No	⑦補修年※西暦
	※前回調査時(構造物データ)欄参照)以降に実施した補修の有無	
⑧補修工法		
⑨現在の状態	<p>＜様式＞※以下から選択</p> <p>○前回調査以降は、補修を実施していない</p> <p>1. 構造物の状態は前回調査時とほとんど変化していない。</p> <p>2. アルカリ骨材反応による劣化の進行が認められる。</p> <p>○前回調査の後に、補修を行った</p> <p>3. 補修箇所・未補修箇所ともに健全である。</p> <p>4. 補修箇所は健全だが、未補修箇所に変化の進行が見られる。</p> <p>5. 補修箇所にも劣化の進行が見られる。</p> <p>＜その他、コメント＞</p>	

アルカリ骨材反応が生じた構造物の追跡調査 調査票2/3	
⑨ひび割れ図	②整理番号
※最大ひび割れ幅 mm	

追跡調査 調査票－構造物調査編(2/3)

アルカリ骨材反応が生じた構造物の追跡調査 調査票3/3	
⑩写真	②整理番号

追跡調査 調査票－構造物調査編(3/3)

1985年調査結果

構造物コード

D8511

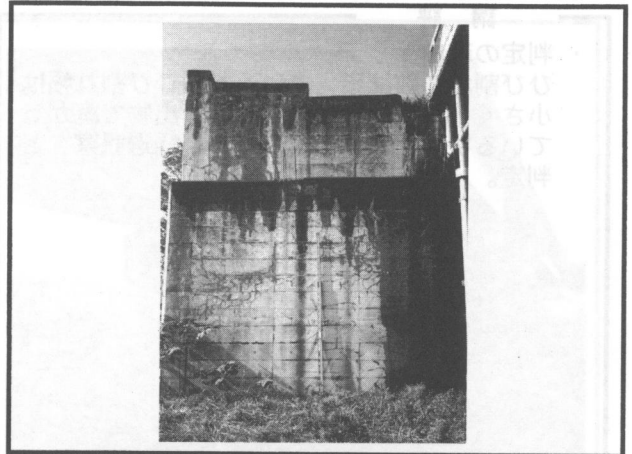
基本データ

1. 所在地 : 新潟県中蒲原郡
2. 路線名・河川名 : 国道49号
3. 構造物種類 : 橋梁
4. 竣工年 : 1974年
5. 周辺環境 : 海岸線より1,822m



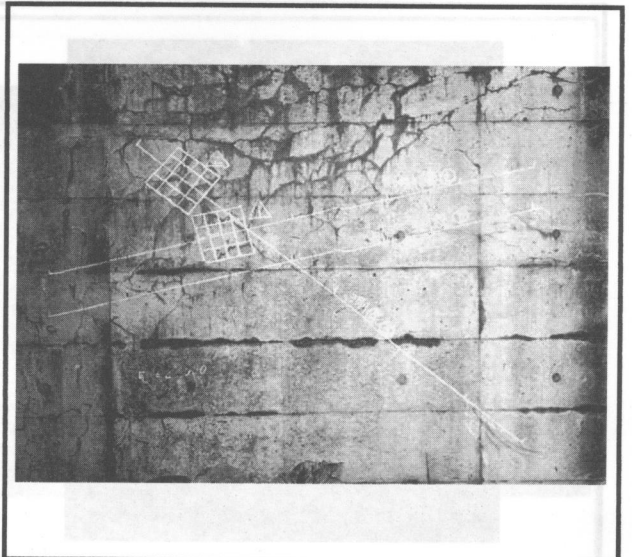
調査結果

1. 調査年月 : 1985年10月
2. 調査位置 : 橋台
3. 補修の有無 : 無
4. 最大ひび割れ幅 : 0.6mm
5. 調査者所見 :
 - ・ クラックは、A1アバット前面サイドの部分にある。この部分は上部に桁が無く、将来増設があるのか、ストッパー用の鉄筋がむき出しになっていた。クラックが集中しているのは、この両サイドの日当たりの良いところに集中している。



講 評

- ・ 隣接する橋台の堅壁前面、パラペット前面にひび割れがみられた。しかし、ひび割れ幅が小さく、範囲も広くないことから、“経過観察”と判定。



判定結果



経過観察

追跡調査結果の事例 その1 (1/2)

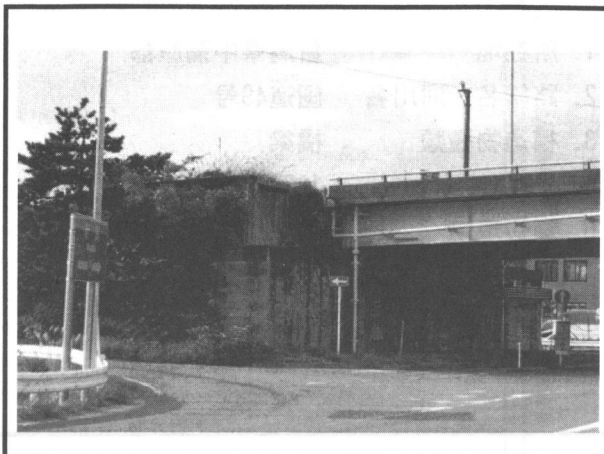
2003年調査結果

構造物コード

D8511

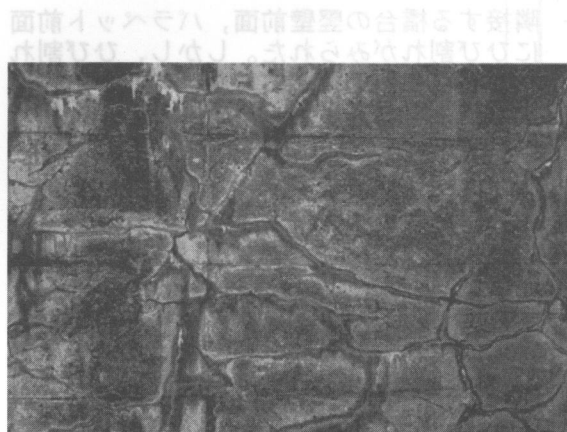
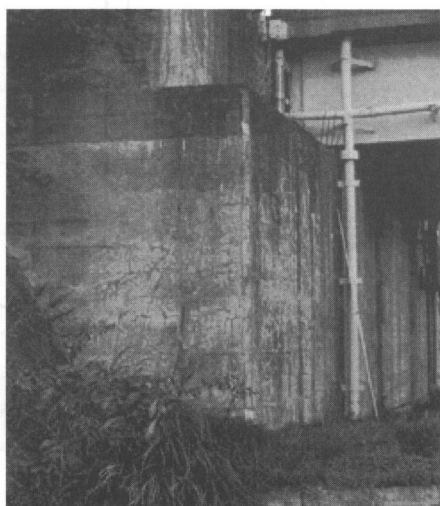
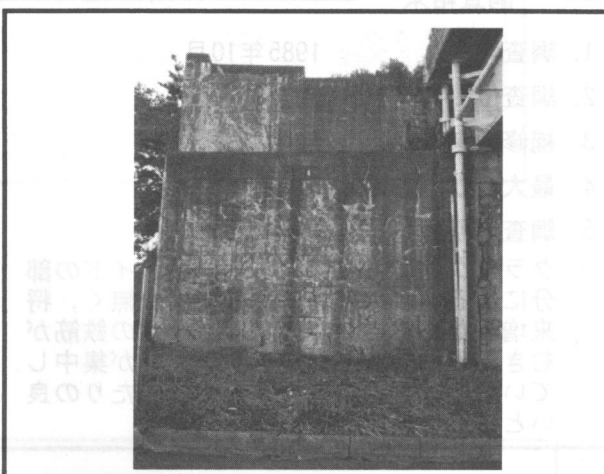
調査結果

1. 調査年月 : 2003年11月
2. 調査位置 : 左岸橋台
3. 補修の有無 : 無し
4. 補修方法 : -
5. 最大ひび割れ幅 : 約10mm程度
6. 調査者所見 :
 - ・ ” 前回調査以降は補修を実施しておらず、アルカリ骨材反応による劣化の進行が見られる ” と判定



講 評

- ・ 判定の理由 :
ひび割れの数が増えてはいるが、ひび割れ幅は小さく、コンクリート内部の析出物で塞がっている状態である。よって、” 経過観察 ” と判定。



判定結果



経過観察

追跡調査結果の事例 その1 (2/2)

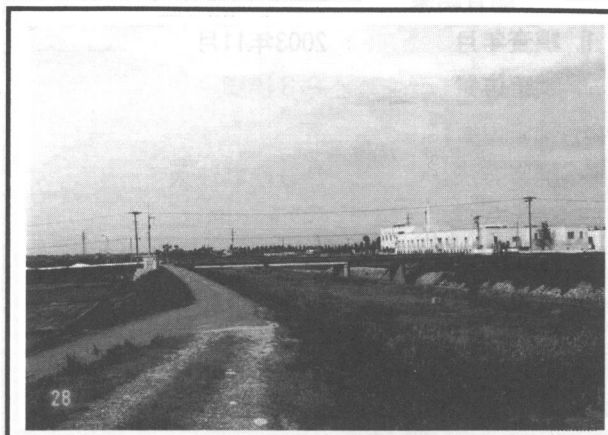
1985年調査結果

構造物コード

N8517

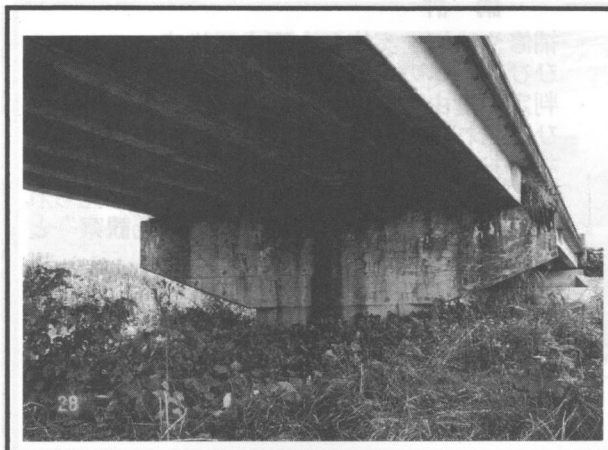
基本データ

1. 所在地 : 富山県中新川郡
2. 路線名・河川名 : 魚津立山線
3. 構造物種類 : 橋梁
4. 竣工年 : 1972年
5. 周辺環境 : 海岸線より7.7km



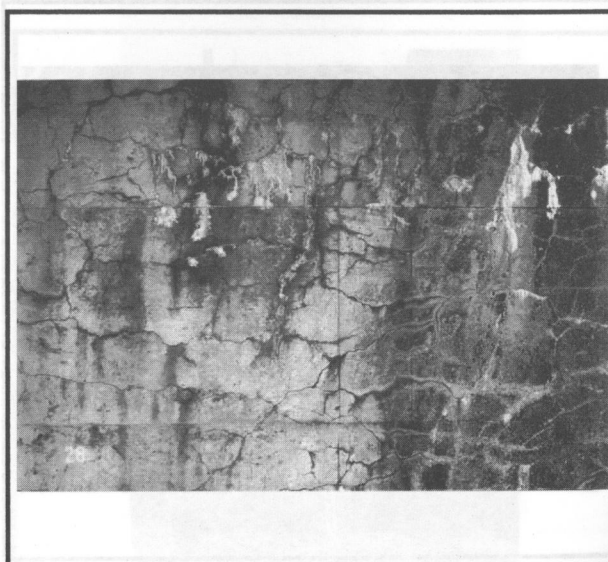
調査結果

1. 調査年月 : 1985年10月
2. 調査位置 : P 3 橋脚
3. 補修の有無 : 無
4. 最大ひび割れ幅 : 1.0mm
5. 調査者所見 :
 - ・ 橋脚はクラックによる被害が大きい(特に張出し部)。クラックは亀甲状に走り、所々に有利石灰と思われる白い浸出物が表面に付着している。橋脚の表面は全体的に黄土色に変色しているが、降雨時の水の流下道は黒く変色している。クラックの目詰まりはあまりない。クラックの幅は1mm程度、深さは大体15mm程度。



講 評

- ・ ひび割れ幅は最大で1.0mm程度で、広い範囲に広がっている。よって、ひび割れ注入により外部からの劣化因子を防ぐ必要がある。



判定結果



補修必要

追跡調査結果の事例 その2 (1/2)

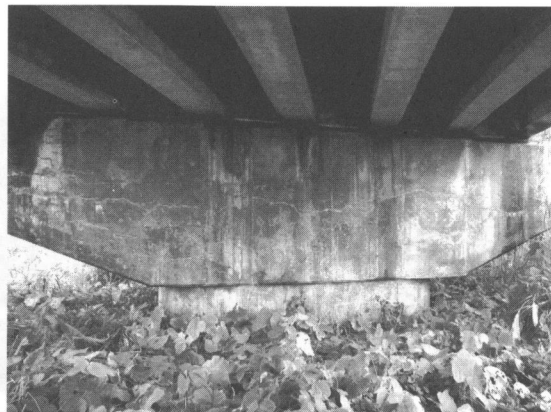
2003年調査結果

構造物コード

N8517

調査結果

1. 調査年月 : 2003年11月
2. 調査位置 : P 3 橋脚
3. 補修の有無 : 有
4. 補修方法 : ひび割れ注入
5. 最大ひび割れ幅 : 約2mm程度
6. 調査者所見 :
 - ・ ひび割れ注入あり→ひび割れの進展なし
 - ・ 補修済みのひび割れ幅は2mm程度
 - ・ 新しいひび割れ（未補修）はあまりない。
 - ・ P 2 橋脚にもひび割れ→補修済み

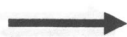


講 評

- ・ 補修や改修を実施した理由の推定 : ひび割れへの水分浸透抑制目的
- ・ 判定の理由 : ひび割れに対して、注入による補修が実施されており、新たなひび割れの進展は見られない。また、補修箇所以外にひび割れが見られるが、幅が小さい。よって、“経過観察”と判定。



判定結果

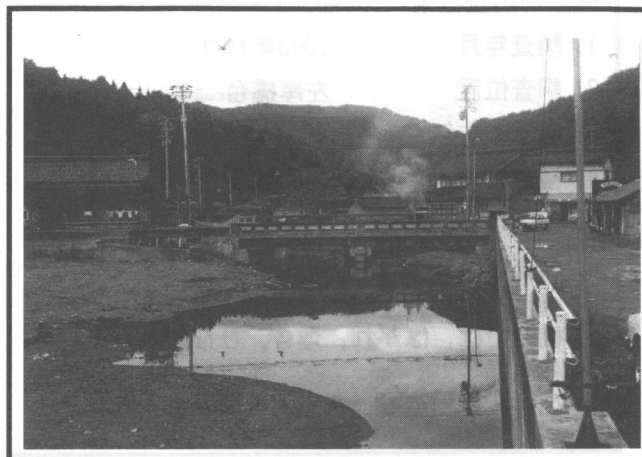


経過観察

追跡調査結果の事例 その2 (2/2)

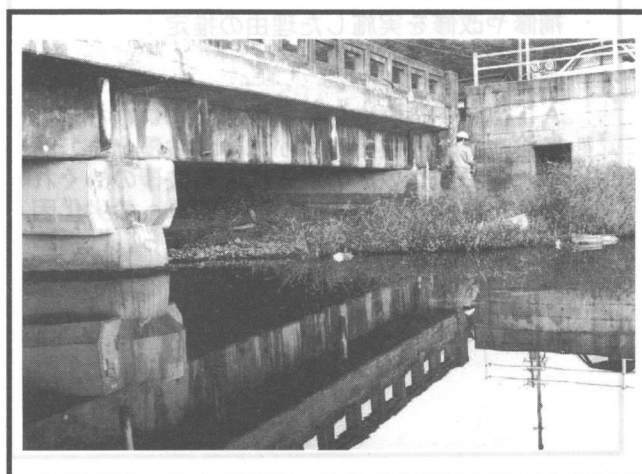
基本データ

1. 所在地 : 石川県七尾市
2. 路線名・河川名 : 一般国道160号
3. 構造物種類 : 橋梁
4. 竣工年 : 1960年
5. 周辺環境 : 海岸線より50m



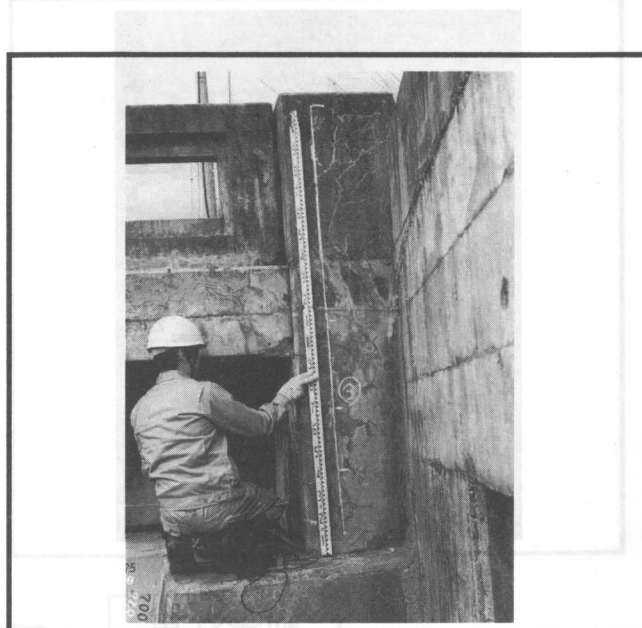
調査結果

1. 調査年月 : 1985年10月
2. 調査位置 : 左岸橋台
3. 補修の有無 : 無
4. 最大ひび割れ幅 : 0.5mm
5. 調査者所見 :
 - ・ クラックは、ほとんど目詰まりしており、一部遊離石灰が流出している



講 評

- ・ ひび割れ幅は最大で0.5mm程度であるが、広い範囲に広がっている。よって、ひび割れ注入により外部からの劣化因子を防ぐ必要がある。



判定結果

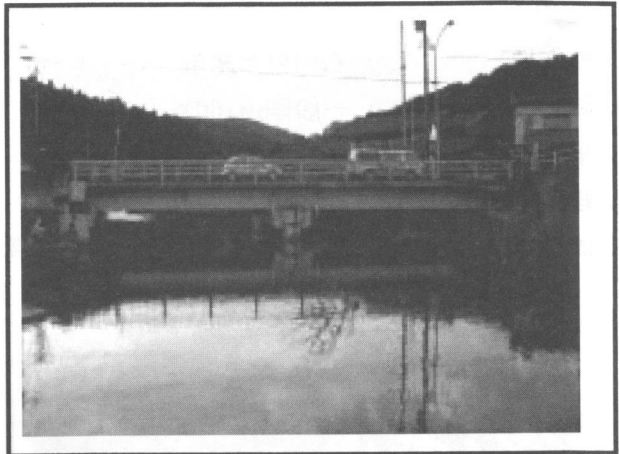


補修必要

追跡調査結果の事例 その3 (1/2)

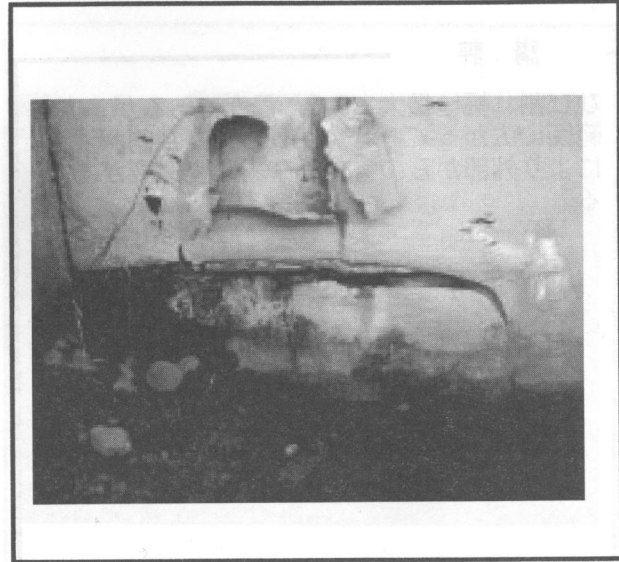
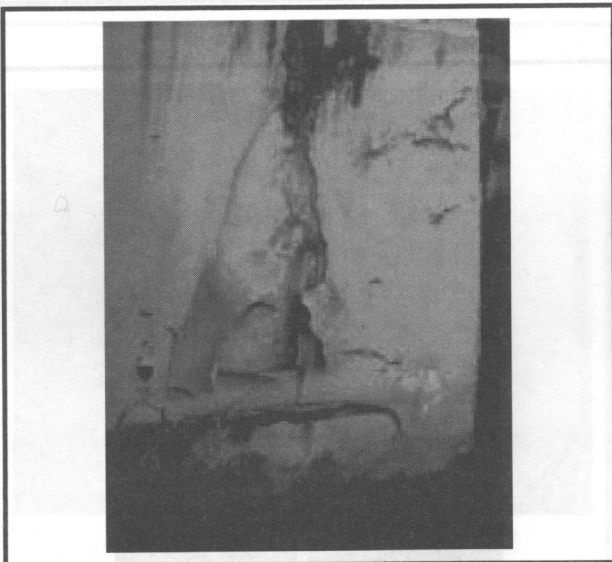
調査結果

1. 調査年月 : 2003年11月
2. 調査位置 : 左岸橋台
3. 補修の有無 : 有
4. 補修方法 : 表面被覆
5. 最大ひび割れ幅 : 約10mm程度
6. 調査者所見 :
 - ・ 橋台、橋脚、上部工で表面被覆
 - ・ 橋台では、はがれ、浮き、ひび割れが確認できる。
 - ・ 水位が高いため、A 1 下流側のみの調査。



講 評

- ・ 補修や改修を実施した理由の推定 : 塩分の浸透抑制目的
- ・ 判定の理由 : A 1 橋台下流側において幅の大きいひび割れに沿った表面被覆のはがれや、被覆とコンクリートの間への水の浸入による被覆のめくれが見られる。幅の大きいひび割れへの劣化因子の侵入を防ぐ必要があることから、” 補修必要” と判定。



判定結果



補修必要

追跡調査結果の事例 その3 (2/2)